

# Chimie du vivant et environnement

Henrotte Virginie

# Partie I

## L'eau

### Analyses et épuration

# Chapitre 1 : Introduction.

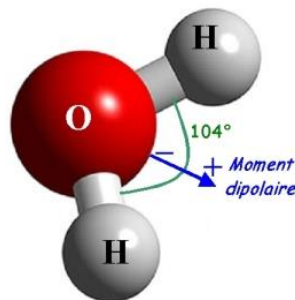
## L' eau synonyme de vie ou de mort

- détermine en grande partie les paysages et les climats de notre globe (72% surface)
- composante essentielle de la structure et du métabolisme des êtres vivants
- un rôle socio-économique dans des communautés très différentes

⇒Ce rôle primordial de l'eau tient à ses propriétés physiques et chimiques exceptionnelles conséquences aux interactions qui s'établissent au sein d'un groupe de molécules d'eau.

### Propriétés de l'eau :

- Structure de l'eau
  - Liaisons covalentes

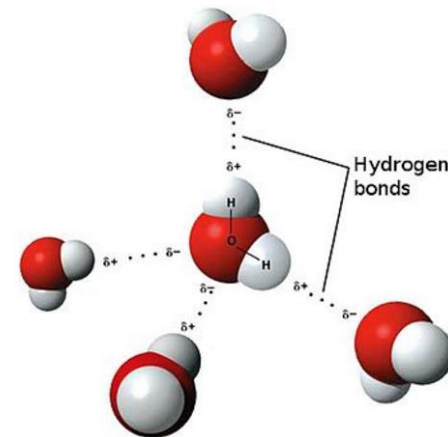


Constante diélectrique élevée

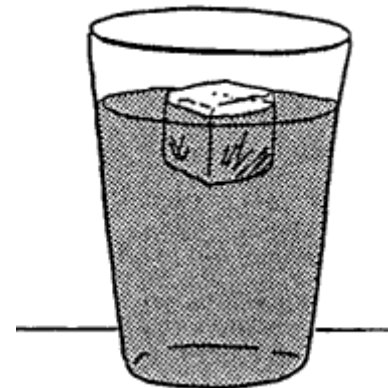
- **Liaisons H** (4) : attraction intermoléculaire dans laquelle un atome d'H lié à un atome très électronégatif est attiré par un doublet électronique libre d'un autre atome.

point d'ébullition  
point de fusion  
chaleur de vaporisation  
tension superficielle

Anormalement élevés



Masse volumique glace < masse volumique eau liquide



# Chapitre 2: la CLASSIFICATION des EAUX

Les eaux sont réparties en trois groupes :

- 1) les eaux naturelles et industrielles,
- 2) l'eau de mer ;
- 3) les eaux résiduaires.

## 1) Les EAUX NATURELLES et INDUSTRIELLES

Il s'agit d'eaux peu minéralisées de bonne qualité

### Les EAUX CONTINENTALES

Origine

Superficielle : cours d'eau, lacs, barrages

Souterraine : nappes (puits, sources)

minéralisation moyenne  
 $0,2 \text{ à } 1,0 \text{ g dm}^{-3}$

soluté dominant : Ca  
( $\text{HCO}_3$ )<sub>2</sub>.

### L'EAU POTABLE (ou EAU ALIMENTAIRE)

Obtenue souvent par traitement des eaux continentales

### Les EAUX INDUSTRIELLES

Leur qualité est variable selon l'usage :

- refroidissement (laminoirs)
- procédé (industries des boissons)
- transfert (lavages de cuves).

### Les EAUX DESTINEES à des USAGES SPECIAUX

par exemple :

. Les eaux de piscine : leur stérilité constitue un critère de qualité primordial

. Les eaux déminéralisée et distillée : laboratoire (recherche, analyse), batteries

## 2) L'EAU de MER

- . Minéralisation élevée et très variable (de la Baltique à la Mer Morte) ; en moyenne  $36 \text{ g dm}^{-3}$
- . Soluté dominant : NaCl (ca  $31 \text{ g dm}^{-3}$ ).

## 3) Les EAUX RESIDUAIRES.

### Les EFFLUENTS DOMESTIQUES

- . Charge polluante assez constante.
- . Epuration généralement biologique.

### Les EFFLUENTS INDUSTRIELS

- . Charge polluante très variable tant qualitativement (matières biodégradables, cyanures, ...) que quantitativement (des eaux de lavage des papeteries aux rejets des distilleries - levureries).
- . Epuration spécifique, éventuellement mixte (avec effluents domestiques).

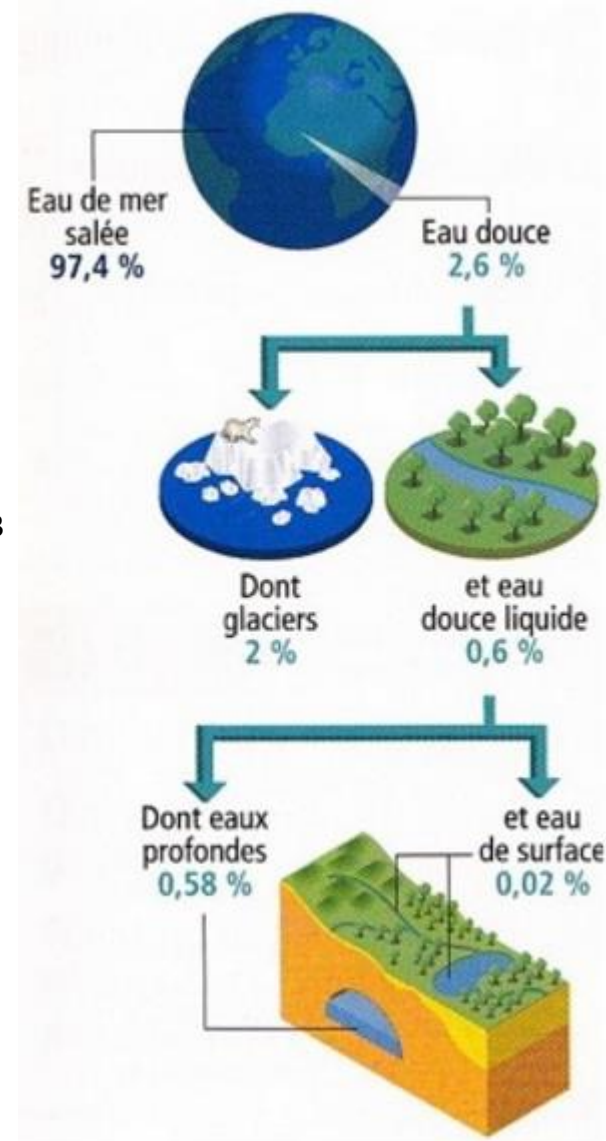
# Chapitre 3: BESOINS et RESSOURCES en EAU

L'eau superficielle représente  
moins de 1% des réserves d'eau  
douce

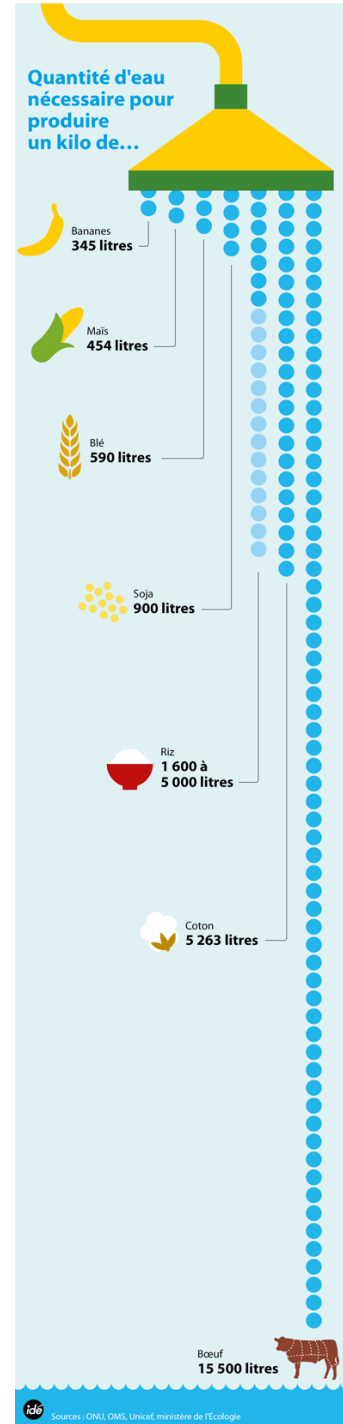
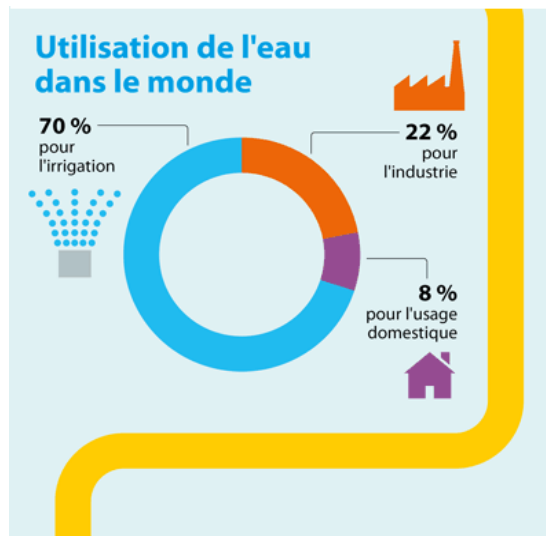
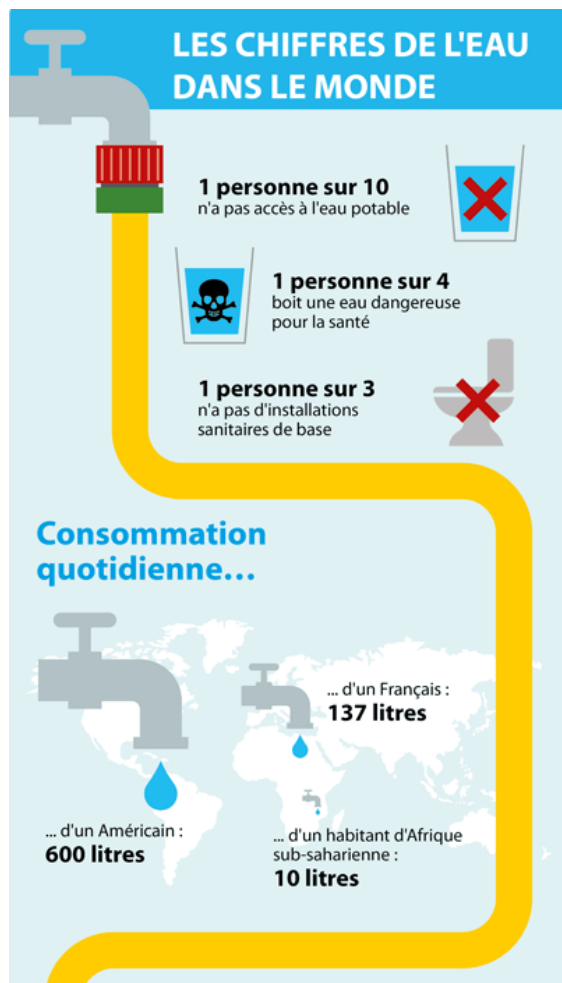
$1400.10^6 \text{ km}^3$

$36.10^6 \text{ km}^3$

$0,2.10^6 \text{ km}^3$



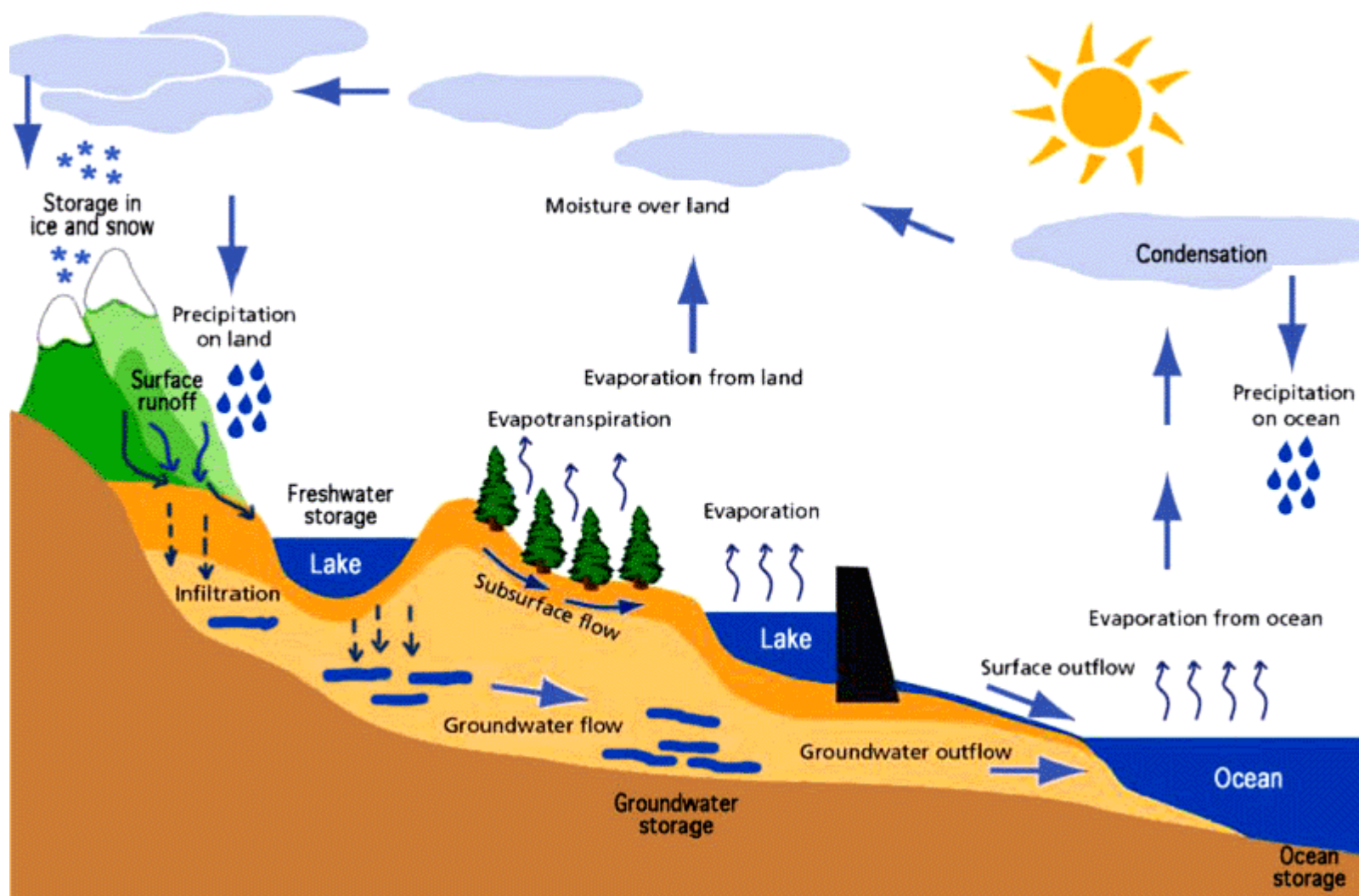
# Consommation mondiale eau douce : 4000 km<sup>3</sup>/an

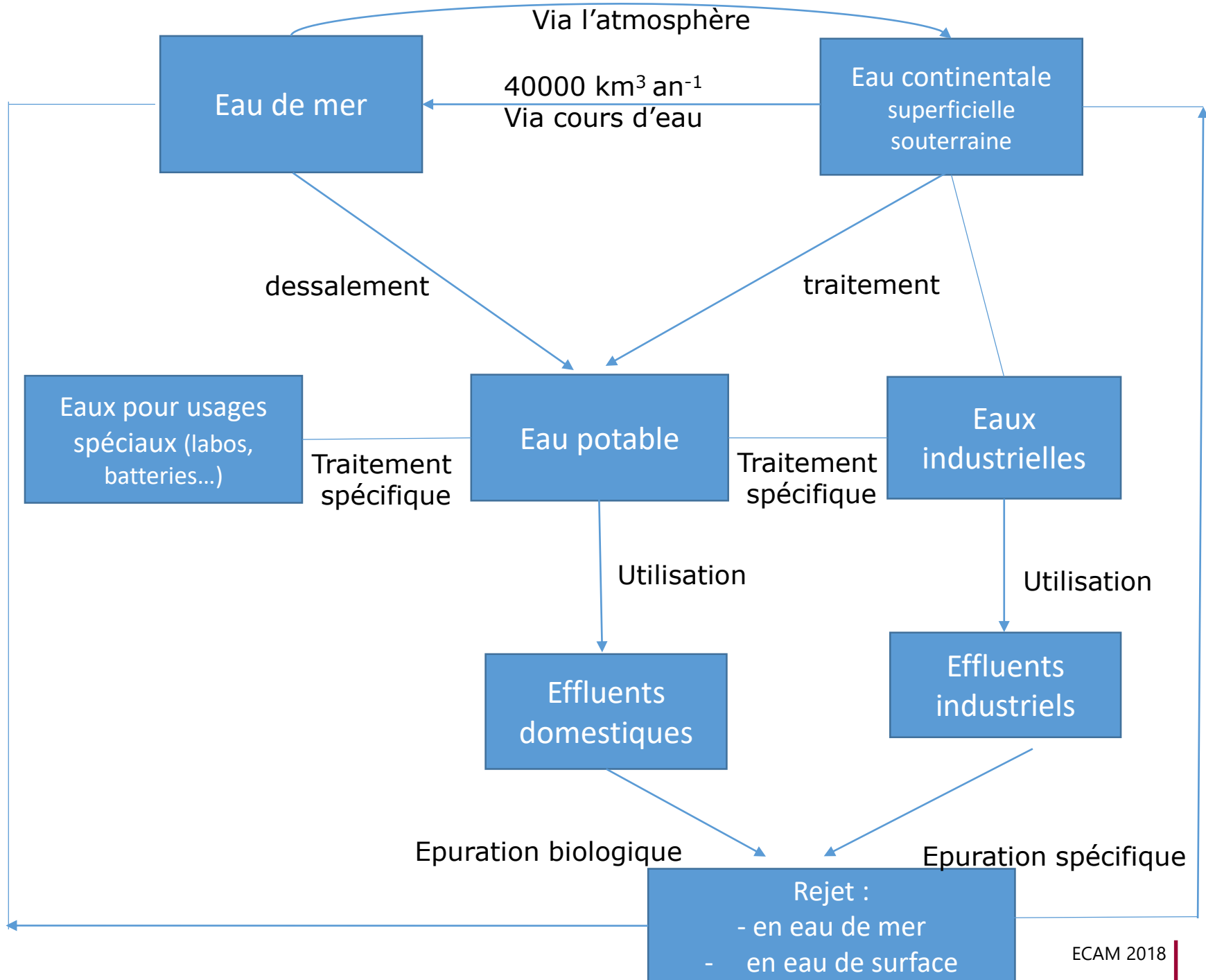




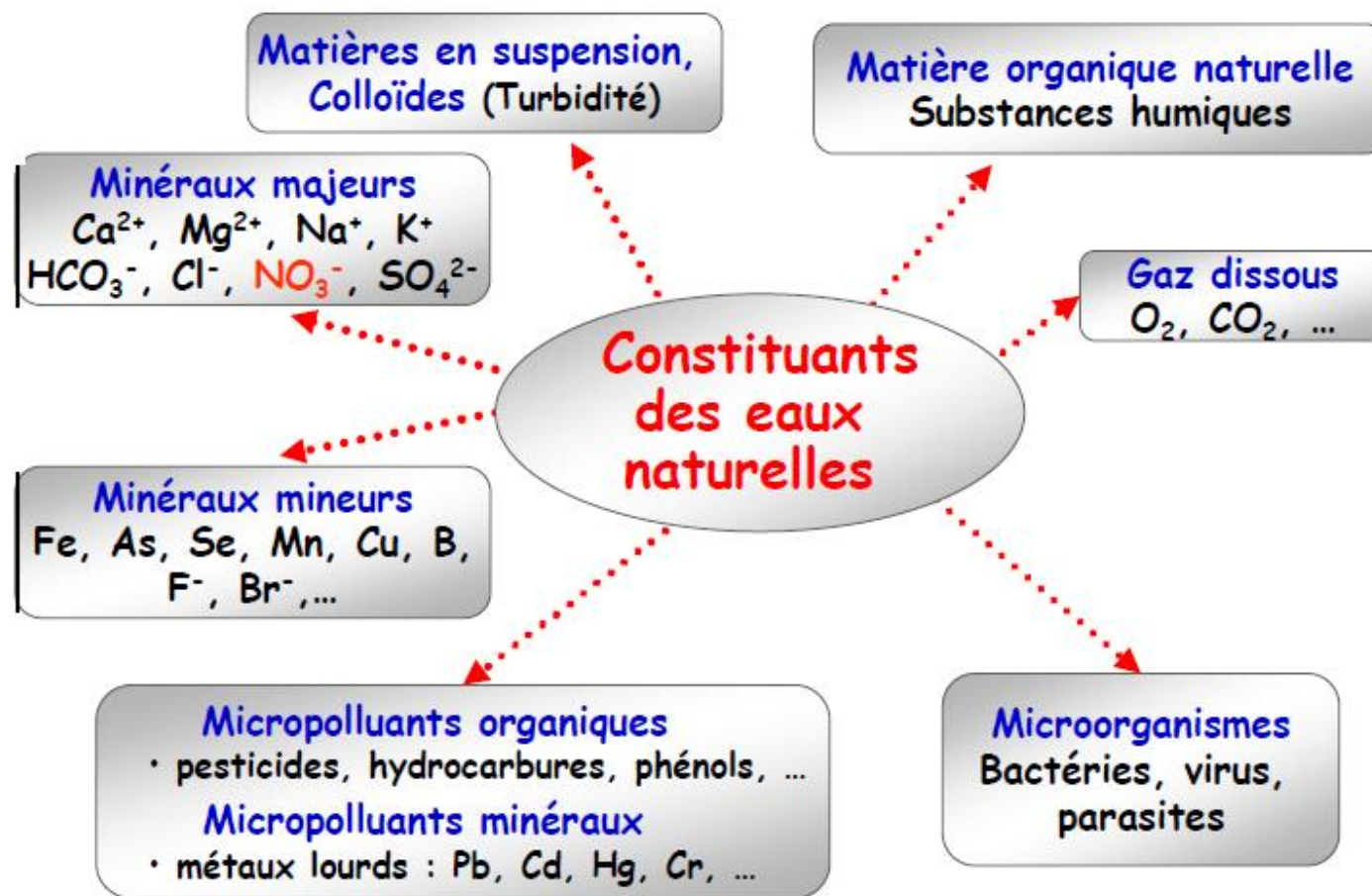
# Le CYCLE HYDROLOGIQUE

Le **cycle de l'eau** (ou **cycle hydrologique**) est un modèle représentant les flux entre les réservoirs d'eau liquide, solide ou gazeuse, sur Terre.



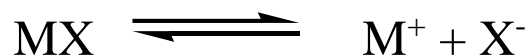


Les eaux naturelles contiennent différents **éléments chimiques dissous** du fait de leur cheminement dans le sol et au contact de l'atmosphère.

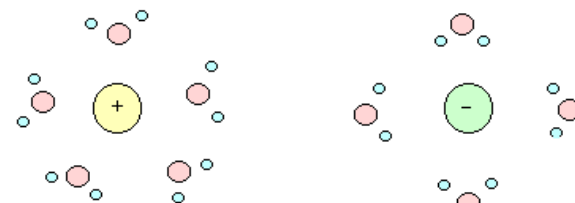


# Dissociation ionique et conductivité électrique

- Structure de l'eau non linéaire  $\Rightarrow$  dipolaire  $\Rightarrow$  bon solvant de substances ionisables et polaires (NaCl, HCl)



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta H > 0 \\ \Delta S > 0 \text{ car augmentation du désordre} \end{array} \right. \quad K_{diss} = \frac{[M^+][X^-]}{[MX]}$$

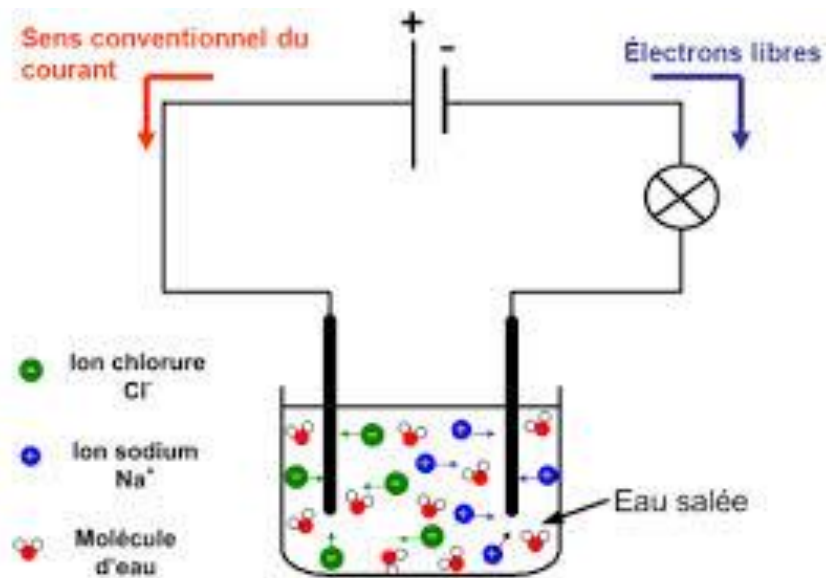


Solvation ou hydratation d'un cation et d'un anion par des molécules d'eau

Electrolyte fort: dissociation complète  $\alpha=1$  où  $\alpha$  est le coefficient de dissociation

Electrolyte faible: dissociation incomplète  $\alpha < 1$

$$\alpha = \frac{n_{diss}}{n_{tot}}$$



$$i = U \cdot R^{-1}$$

$$R = \rho \cdot L \cdot s^{-1}$$

La **conductivité**  $\chi$  est l'inverse de la résistivité  $\rho$  :  $\chi = \rho^{-1}$

La **conductance**  $G$  vaut :

$$G = R^{-1} = \rho^{-1} \cdot L^{-1} \cdot s$$

Dès lors, on a :

$$\chi = G \cdot L \cdot s^{-1}$$

$$\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

# Conductivité molaire $\Lambda_m$

- *Nature de l'électrolyte*

- électrolyte fort  $\Rightarrow \chi \uparrow$
- $\downarrow$  taille des ions  $\Rightarrow \chi \uparrow$

- *Température*

- $T \uparrow \Rightarrow \chi \uparrow$

- *Concentration en ions*

- [ions] faible  $\Rightarrow \chi$  petit
- [ions] forte  $\Rightarrow \chi$  grand mais si [ions]  $\gg$ ,  $\chi \downarrow$

$$\Lambda_m = \frac{\chi}{[E]_i} \quad \begin{matrix} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} \\ \text{mol dm}^{-3} \end{matrix}$$

$$\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1} 1000 \text{ cm}^3$$

$$\Lambda_m = \frac{10^3 \chi}{[E]_i} \quad \Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1} \text{ ou } \text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

# Conductivités ioniques limites équivalentes ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ) [ $\Omega^{-1}\text{cm}^2 \text{mol}^{-1}$ ]

CATIONS	$\frac{\lambda_+^0}{z_+}$	ANIONS	$\frac{\lambda_-^0}{ z_- }$
$\text{H}^+$	349,8	$\text{OH}^-$	198,3
$\text{Na}^+$	50,1	$\text{Cl}^-$	76,3
$\text{K}^+$	73,5	$\text{NO}_3^-$	71,5
$\text{NH}_4^+$	73,5	$\text{CO}_3^{--}$	69,3
$\text{Mg}^{++}$	53,1	$\text{SO}_4^{--}$	80,0
$\text{Ca}^{++}$	59,5	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	40,9

Conductivité molaire limite :  $\Lambda_m^0 = \lim_{[E] \rightarrow 0} \Lambda_m$

**Loi d'additivité de Kohlrausch** (loi des migrations ioniques indépendantes)

$$\Lambda_m^0 = n_+ \lambda_+^0 + n_- \lambda_-^0$$

Exemple : prédire la conductivité d'une solution de  $\text{MgCl}_2$  à  $10^{-3} \text{ mol.dm}^{-3}$

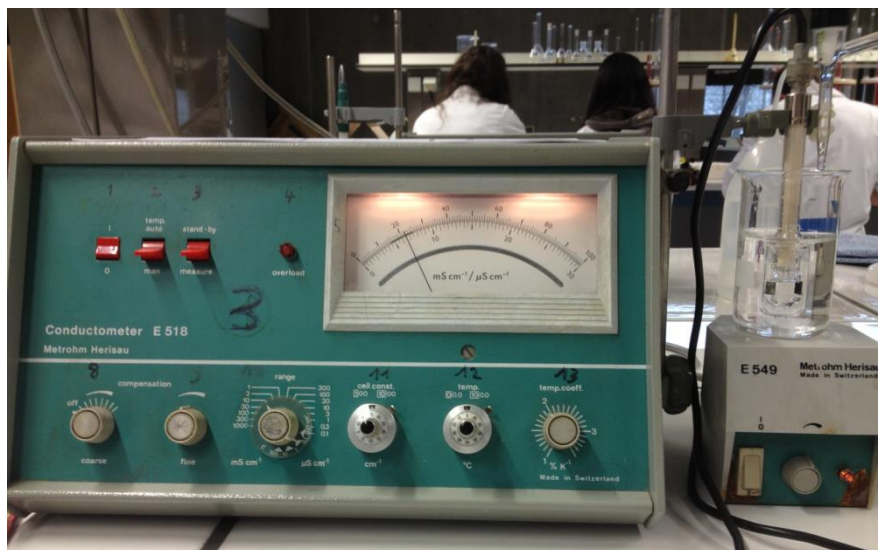
Les eaux potables ont en générale une conductivité comprise entre 200 et 1000  $\mu\text{S/cm}$  avec 400  $\mu\text{S/cm}$  une eau d'excellente qualité

L'eau de mer est de l'ordre de 30000  $\mu\text{S/cm}$

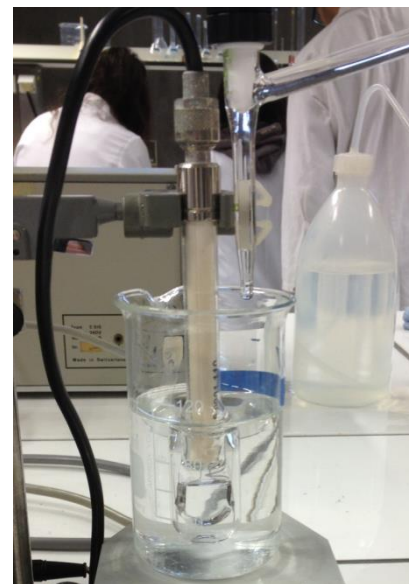
L'eau pure  $5,50 \cdot 10^{-8} \text{ S.cm}^{-1}$  à  $25^{\circ}\text{C}$



# Mesure de la conductivité



résistance de la solution placée entre deux électrodes



électrodes en platine

$$K_{\text{cel}} = l \cdot S^{-1}$$

# Evaluation de $K_{\text{diss}}$ par la mesure de la conductivité



$$K_{\text{diss}} = \frac{[\text{M}^+][\text{X}^-]}{[\text{MX}]}$$

$$\alpha = \frac{c_{\text{diss}}}{c_{\text{tot}}} \quad \text{avec } C_0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$[\text{M}^+] = [\text{X}^-] = c_{\text{diss}} = \alpha \cdot c_{\text{tot}}$$

$$[\text{MX}] = c_{\text{tot}}(1 - \alpha)$$

$$K_{\text{diss}} = \frac{\alpha^2 c_{\text{tot}}}{(1 - \alpha)}$$

LOI D'OSTWALD

A dilution infinie, la dissociation est complète.

Puisque :

$$\chi = k \cdot c_{\text{diss}} = k \cdot \alpha \cdot c_{\text{tot}} \quad (\text{avec } k = \text{cste})$$

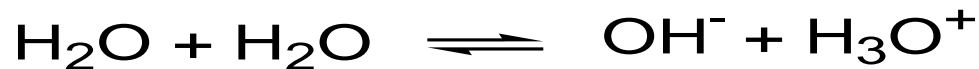
Alors

$$\Lambda_m = k \cdot \alpha \quad \text{et} \quad \Lambda_m^0 = k$$

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0}$$



# Produit ionique de l'eau



$$K_c = \frac{[\text{OH}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = \frac{K_{\text{diss}}}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad \text{avec } C^0 = 1 \text{ mol.dm}^{-3}$$

$\chi$  de  $\text{H}_2\text{O}$  pure =  $5,50 \cdot 10^{-8} \text{ S.cm}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$

A faible dissociation :

$$K_c = \frac{\alpha^2 C_{\text{tot}}}{(1-\alpha) [\text{H}_2\text{O}]} \approx \alpha^2 = \left( \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^\circ} \right)^2 \quad \alpha \rightarrow 0$$

$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = \frac{\Lambda_m^2}{\Lambda_m^{\circ 2}} = \left( \frac{\chi}{C_{\text{tot}}} \right)^2 \frac{1}{(\lambda_0^+ + \lambda_0^-)^2}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-](\text{mol.dm}^{-3})^2 = \frac{(5,50 \cdot 10^{-8})^2 (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})^2}{(198,3 + 349,8)^2 (\Omega^{-1} \text{cm}^2 \text{mol}^{-1})^2} \quad (\text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1} 10^{-3} \text{dm}^3)^2$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-](\text{mol.dm}^{-3})^2 = \frac{(5,50 \cdot 10^{-8})^2}{(198,3 + 349,8)^2 10^{-6}} (\text{mol.dm}^{-3})^2 = 1,01 \cdot 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,01 \cdot 10^{-14} = K_w$$

# Produit ionique de l'eau

<b>T(K)</b>	273	283	298	310	333
<b>K<sub>w</sub></b>	$10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-15}$	$10^{-14}$	$2,13 \cdot 10^{-14}$	$10^{-13}$

⇒ phénomène d'autoprotolyse de l'eau

# Chapitre 4: L'évaluation de la qualité des eaux naturelles

les normes retenues dépendent naturellement de la destination de l'eau.

## CLASSIFICATION SANITAIRE



En ce qui concerne la potabilité de l'eau, l'aspect sanitaire constitue la préoccupation dominante et on distingue alors des substances ;

normales :  $O_2$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ....

indésirables :  $Fe^{3+}$ ...

toxiques :  $Hg^{2+}$ ...

Les frontières entre ces différentes familles de paramètres ne sont pas nettement définies ; ainsi, des substances indésirables peuvent être toxiques lorsqu'elles sont présentes en quantités très importantes.

## L'EVALUATION de la QUALITE de l'EAU POTABLE

62 paramètres physiques, chimiques et biologiques, répartis en 5 groupes :

- A. : 4 paramètres ORGANOLEPTIQUES (relatifs aux informations recueillies par les organes sensoriels).
- B. : 15 paramètres PHYSICO-CHIMIQUES en relation avec la structure naturelle des eaux.
- C. : 24 paramètres concernant des substances INDESIRABLES.
- D. : 13 paramètres relatifs à des substances TOXIQUES. As,  $CN^-$  métaux lourds, pesticides
- E. : 6 paramètres MICROBIOLOGIQUES.

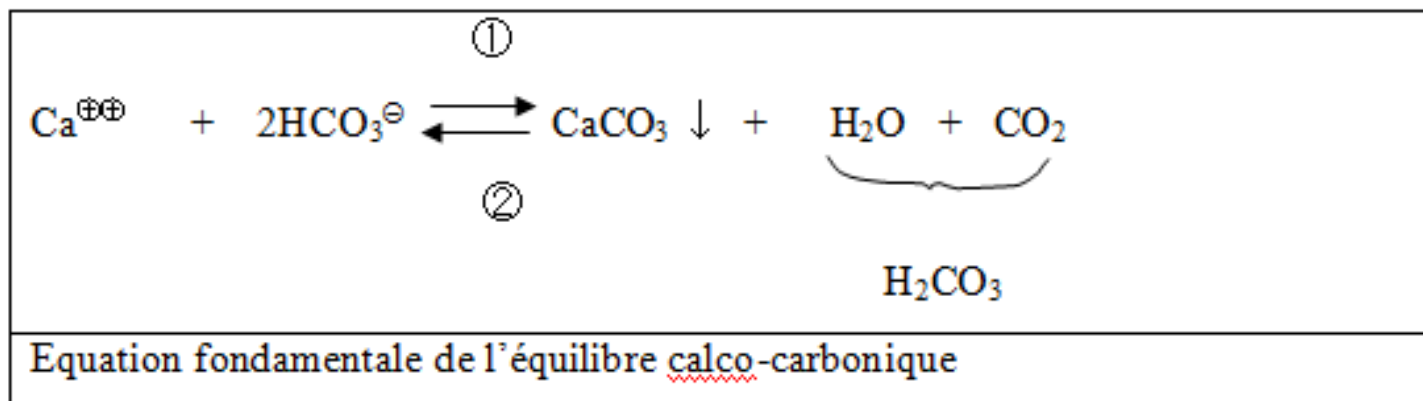
# Paramètres physico-chimiques

	Paramètre	Méthode d'analyse
	pH à 20°C	pH-métrie
	Turbidité	Turbidimétrie (photométrie)
Cations majeurs	Ca <sup>2+</sup>	Complexométrie (dosage volumétrique)
	Mg <sup>2+</sup>	
	Na <sup>+</sup>	Photométrie de flamme
	K <sup>+</sup>	
Anions majeurs	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dosage acidimétrique
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Chromatographie ionique
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Cl <sup>-</sup>	
	COT (Carbone Organique Total)	Analyseur de Carbone
	Pesticides totaux	Chromatographie phase gazeuse Spectrométrie de masse

Certains de ces éléments réagissent entre eux au sein d'un système appelé **calco-carbonique**.

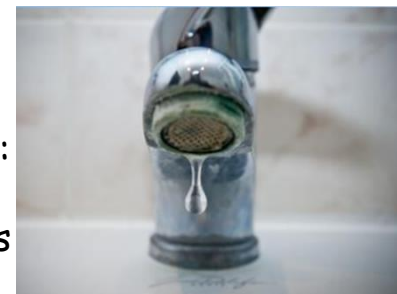
## L'EQUATION FONDAMENTALE de L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE

Dissociation de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  bicarbonate de calcium ou hydrogénocarbonate de calcium



L'évolution dans sens ① correspond au dépôt de  $\text{CaCO}_3$ , phénomène bien connu :

entartrage des circuits d'eau chaude et des chauffe-eaux, dépôt des stalactites et stalagmites dans les grottes ...

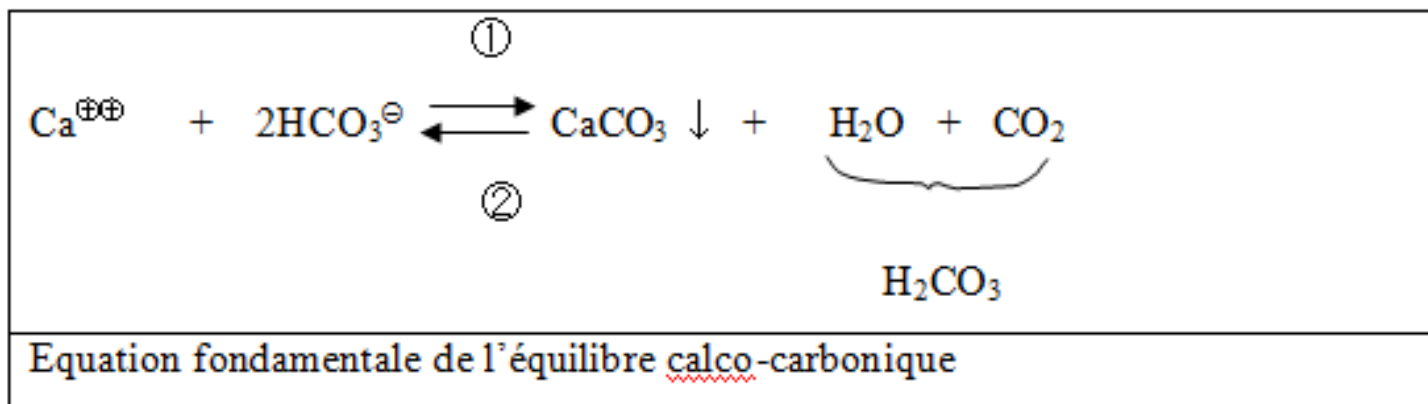


L'évolution dans sens ② se traduit par la dissolution du carbonate de calcium (agressivité),

provoquant notamment l'érosion des roches calcaires.



## pH de SATURATION

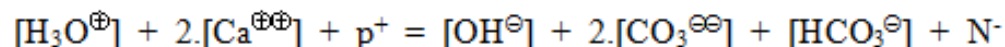


Le pH est l'un des critères de base permettant de définir l'agressivité.

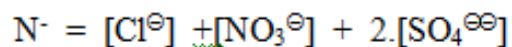
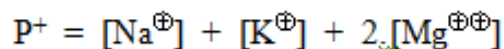
L'évaluation de la position d'une eau vis-à-vis de l'équilibre calco-carbonique nécessite de calculer le pH d'équilibre ou de saturation (pH<sub>s</sub>). Il correspond au pH théorique que doit avoir l'eau pour se trouver en équilibre avec le carbonate de calcium.

## RELATIONS GENERALES INTERVENANT DANS L'ETUDE de L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE.

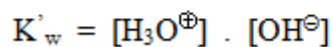
Relation de neutralité électrique:



Où :



Constante d'équilibre de dissociation de l'eau:



Constantes des équilibres carboniques

1<sup>ère</sup> dissociation :



$$K_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

$$\text{p}K_1 = 6,37$$

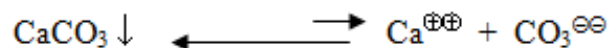
2<sup>ème</sup> dissociation :



$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$$\text{p}K_2 = 10,32$$

### Constantes d'équilibre de dissociation du carbonate de calcium



$$K_s = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$$

Si le produit des molarités  $[\text{Ca}^{2+}]$  et du  $[\text{CO}_3^{2-}]$  est inférieure à  $K_s$ ,  
la limite de solubilité n'est pas atteinte et il est possible d'accroître la teneur en  $\text{CaCO}_3$  de l'eau

Par contre, si ce produit est supérieur à  $K_s$  l'eau sera en équilibre instable et elle aura tendance à précipiter le carbonate de calcium jusqu'à ce que le produit de solubilité de  $\text{CaCO}_3$  soit respecté à nouveau.



$$[CO_3^{2-}] = \frac{K'_5}{[Ca^{2+}]}$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{K'_2 \cdot [HCO_3^-]}{[H_3O^+_{sat}]}$$

D'où :

$$[H_3O^+_{sat}] = \frac{K'_2}{K'_5} \cdot [HCO_3^-] \cdot [Ca^{2+}]$$

En prenant les cologarithmes, on a :

$$\text{pH}_{\text{sat}} = \underbrace{\text{p}K'_2 - \text{p}K'_5}_{\text{C}} - \log [Ca^{\oplus\oplus}] - \log [HCO_3^{\ominus}]$$

(en mol dm<sup>-3</sup>)

**LANGELIER** considère le pH de saturation pH<sub>sat</sub> correspondant à l'état d'équilibre calco-carbonique

## INDICE de LANGEIER

L'indice de LANGEIER (i) ou index de saturation reflète l'état d'équilibre (ou de déséquilibre) calco-carbonique

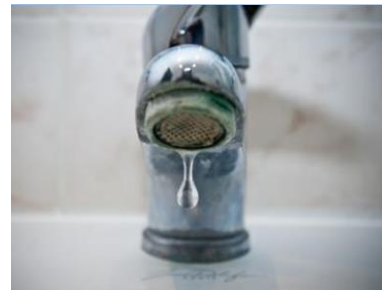
$$i = \text{pH}_{\text{réel}} - \text{pH}_{\text{sat}}$$

Le tableau suivant résume les trois cas possibles :

i	action de l'eau	type d'eau
$i < 0$	Dissolution de $\text{CaCO}_3$	agressive
$i = 0$	Pas d'action	inactive
$i > 0$	Dépôt de $\text{CaCO}_3$	incrustante

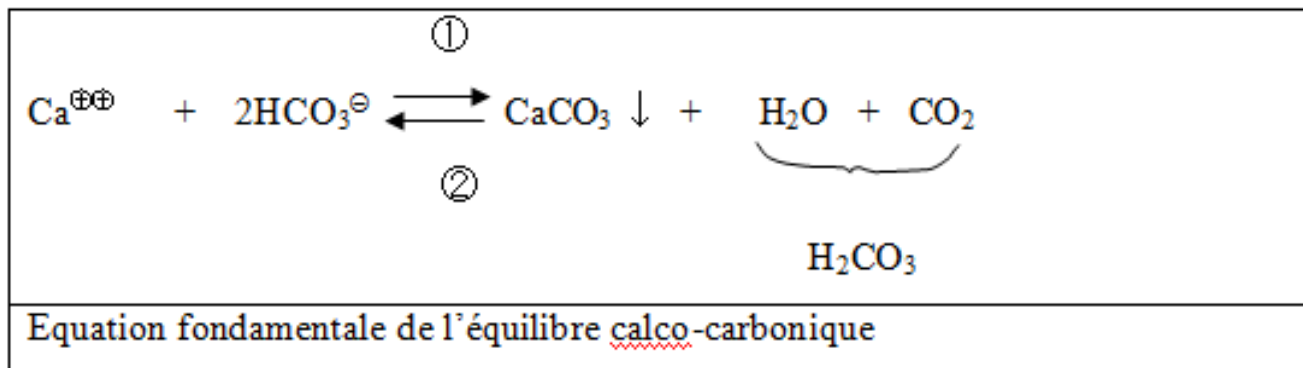


Corrosion interne



entartrage

## Notions permettant la définition de l'état d'équilibre



$$\text{pH}_{\text{sat}} = \underbrace{\text{pK}'_2 - \text{pK}'_1}_{\text{C}} - \log [\text{Ca}^{\oplus\oplus}] - \log [\text{HCO}_3^{\ominus}]$$

(en mol dm<sup>-3</sup>)

ALCALINITE OU TITRES ALCALIMETRIQUES

DURETE OU TITRE HYDROTIMETRIQUE

# L'ALCALINITE : les TITRES ALCALIMETRIQUES SIMPLE (TA) et COMPLET (TAC)

## SIGNIFICATION de l'ALCALINITE

L'alcalinité de l'eau est principalement due à la présence des anions ;

hydroxyle  $\text{OH}^-$  (des bases fortes)

carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$

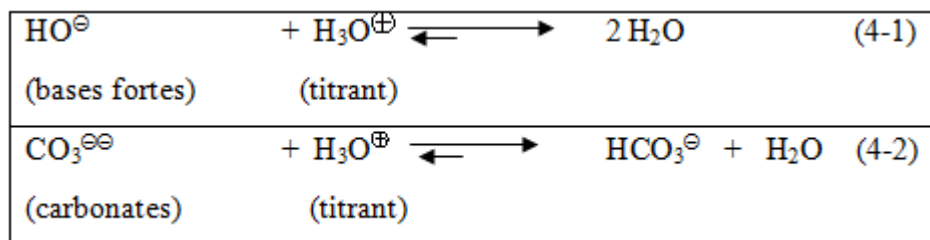
hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^-$

## METHODE de MESURE

Dosage acidimétrie à l'aide d'une solution titrée d'acide fort (HCl) ou apparenté ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

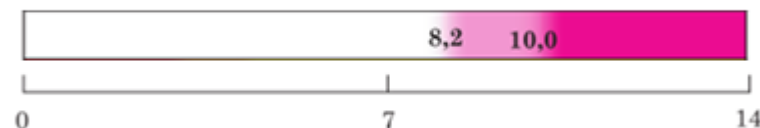
## Le TITRE ALCALIMETRIQUE SIMPLE (TA)

Le TA s'obtient en utilisant comme indicateur la phénolphtaléine dont le virage se produit à un pH de 8,2.



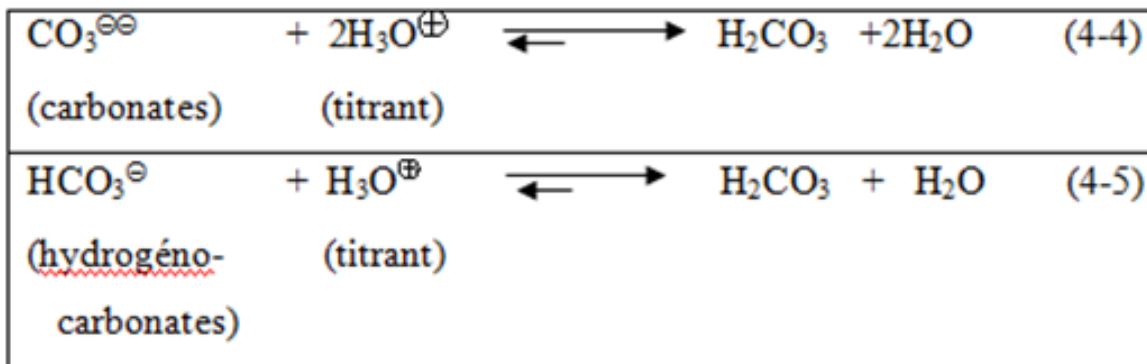
$$\text{TA} = [\text{OH}^\ominus] + [\text{CO}_3^{\ominus\ominus}]$$

(en  $\text{mol dm}^{-3}$ )



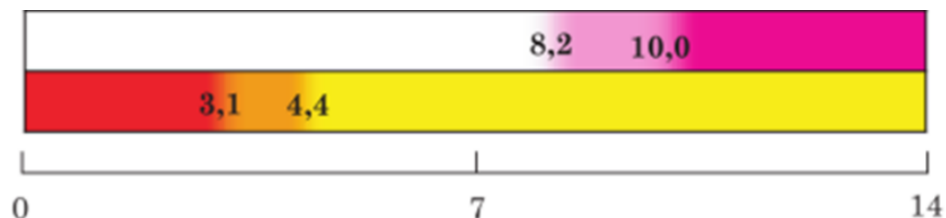
## Le TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC)

Le TAC se détermine en choisissant comme indicateur le méthylorange dont la zone de virage est centrée sur un pH de 4,4 pour lequel les réactions (4-1), (4-4) et (4-5) sont quantitatives.



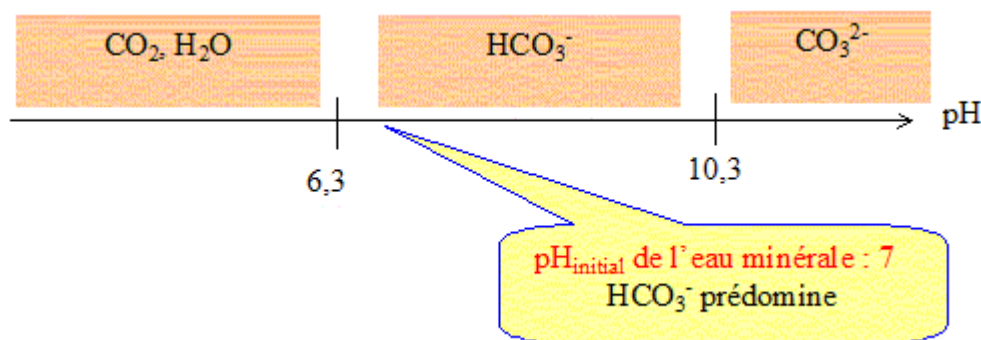
Le bilan des molarités s'écrit ;

$$\text{TAC} = [\text{OH}^{\ominus}] + 2.[\text{CO}_3^{\ominus\ominus}] + [\text{HCO}_3^{\ominus}]$$



## Principe du dosage titrimétrique

## Pour les eaux minérales (labo)



→ acide fort

→ eau

Le **TAC** des eaux alimentaires est généralement nul par suite de l'absence de bases fortes et de carbonates solubles. Dans ces conditions, le pH est inférieur à 8,2 et le **TAC** représente la teneur en hydrogénocarbonates.

$$\text{TAC} \approx [\text{HCO}_3^-]$$

## LA DURETE (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau est due à la présence de cations polyvalents dissous, essentiellement le **calcium  $\text{Ca}^{2+}$**  et le **magnésium  $\text{Mg}^{2+}$**

La DURETE CALCIQUE (THCa) : teneur en Ca.

La DURETE MAGNESIENNE (THMg) : teneur en Mg

La DURETE TOTALE (THtot) : concentration totale en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$

$$\text{TH}_{\text{tot}} = \text{TH}_{\text{Ca}} + \text{TH}_{\text{Mg}}$$

La DURETE CARBONATEE ou DURETE TEMPORAIRE (THtemp) :

Concentration en carbonate et hydrogénocarbonate (surtout) de Ca et de Mg.

La DURETE NON CARBONATEE ou DURETE PERMANENTE (THperm) :

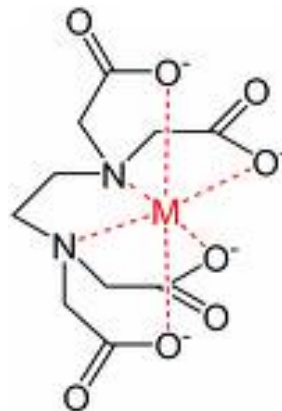
teneur en sels non carbonatés (sulfate de chlorure très solubles) de Ca et de Mg.

C'est la dureté qui persiste après ébullition prolongée et filtration de l'eau.

$$\text{TH}_{\text{tot}} = \text{TH}_{\text{temp}} + \text{TH}_{\text{perm}}$$

## PRINCIPE du DOSAGE COMPLEXOMETRIQUE des DURETES

complexométrie à l'EDTA en milieu convenablement tamponné. (voir labo)



### ***acide éthylène diamine tetraacétique***

Dureté totale (ensemble des cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ )

Indicateur : le noir d'ériochrome T.

Tampon de pH 10 pour empêcher la précipitation du  $\text{Mg}^{2+}$  sous forme de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  à pH trop élevé.

Dureté calcique ( $\text{Ca}^{2+}$  seul)

Indicateur spécifique : calcéine ou murexide.

Tampon fortement basique (pH 12 – 13).

Dureté magnésienne ( $\text{Mg}^{2+}$  seul)

Elle s'obtient par différence



## Les PRINCIPALES UNITES de CONCENTRATION UTILISEES en CHIMIE des EAUX.

### La concentration en degrés français (°f)

$$1^{\circ}f \triangleq 10 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de CaCO}_3 \\ \triangleq 4 \text{ g m}^{-3} \text{ de Ca}^{++}$$

$$\text{Pour un ion, } 1^{\circ}f \triangleq \frac{0,2}{|z|} \text{ millimol dm}^{-3}$$

Cela donne les concentrations suivantes en  $\text{mg dm}^{-3}$  pour les ions communs :

$\text{Na}^+ : 4,6$

$\text{K}^+ : 7,8$

$\text{Ca}^{++} : 4,0$

$\text{Mg}^{++} : 2,4$

$\text{HCO}_3^- : 12,2$

$\text{Cl}^- : 7,1$

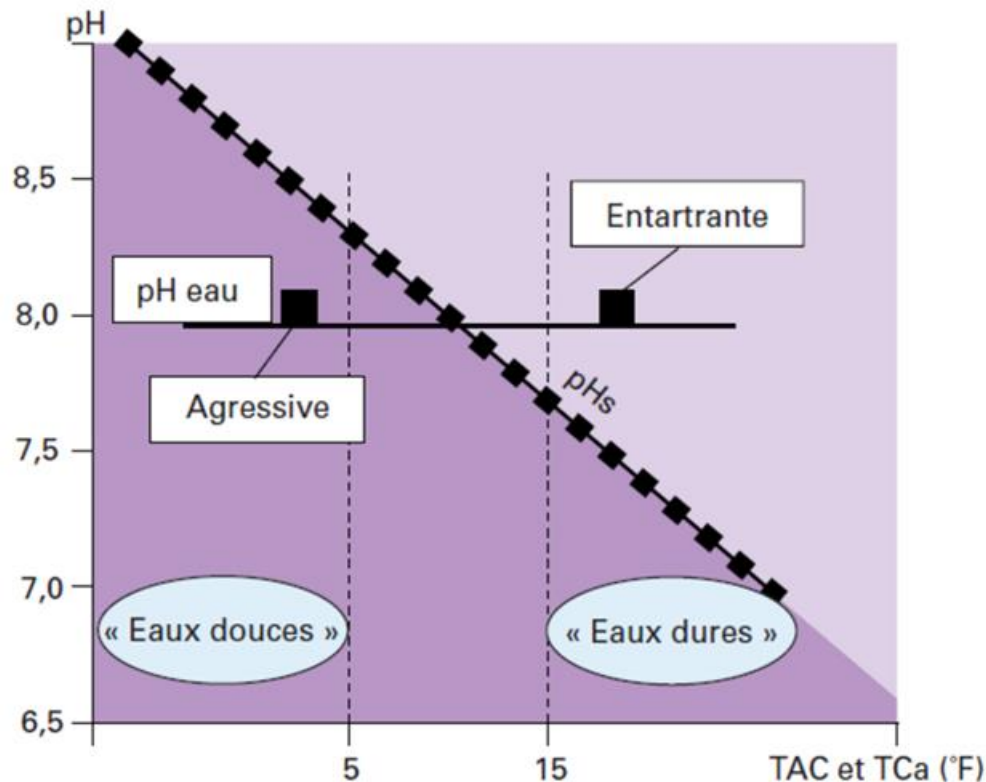
$\text{SO}_4^{2-} : 9,6$

## INTERPRETATION des RESULTATS

Pour l'eau alimentaire,

- $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
- TAC se situe souvent entre 10 et 30 °f.
- THtot se situe souvent entre 8 et 15 °f
  - THtot ( $>15^\circ\text{f}$ ) est dite "dure"
  - THtot ( $< 8^\circ\text{f}$ ) est dite "douce"

NB : En Belgique, une dureté de l'ordre de  $30^\circ\text{f}$  est fréquente.



Zones d'existence eaux dures/eaux douces, eaux entartrantes/eaux agressives

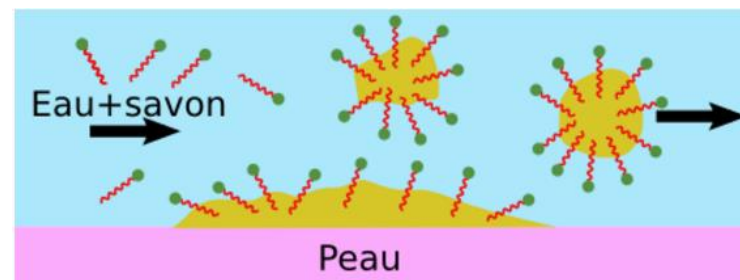
Réf : Suezwater

ECAM 2018

## PRINCIPAUX INCONVÉNIENTS RÉSULTANT D'UNE DURETÉ TOTALE ÉLEVÉE:

➤ perte en savon : une eau dure requiert une quantité de savon supérieure à celle exigée par une eau distillée.

$\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  réagissent avec les savons selon une réaction de précipitation.



Réf : <https://sciencetonnante>

Composant (en pour cent)	Utilité	Exemple
Surfactants ( 0-20%)	Abaissment de la tension superficielle de l'eau	alkylbenzènesulfonates $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$
Complexants ( 0-50%)	Séquestrent des ions métalliques divalents tels que $\text{Ca}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}$ , ce qui a pour effet de rendre l'eau plus douce.	triphosphates de sodium $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
Echangeurs d'ions ( 0-50%)	Éliminent $\text{Ca}^{2+}$ de l'eau en échangeant chaque $\text{Ca}^{2+}$ par deux $\text{Na}^+$	zéolithes, par ex
Substances alcalines ( 0-35%)	rendent l'eau basique, ce qui permet aux détergents de mieux nettoyer, en maintenant les surfaces sous forme anionique	$\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$ , $2\text{SiO}_5$ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{Na}_4\text{SiO}_4$
Agents de blanchiment ( 0-5%)	enlèvent les souillures, grâce à la libération de peroxyde d'hydrogène, lequel donne lieu à une réaction d'oxydation	péroxydes, par ex, du perborate de sodium $\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Enzymes ( 0-2%)	décomposent les taches de nature protéique	une grande diversité d'enzymes est employée
Parfums (traces)	apportent une odeur agréable	les parfums les plus divers sont incorporés aux détergents
Excipients (pour atteindre 100%)	Agents incorporés pour atteindre la masse voulue	sulfate de sodium

➤ effet défavorable à la cuisson convenable des légumes

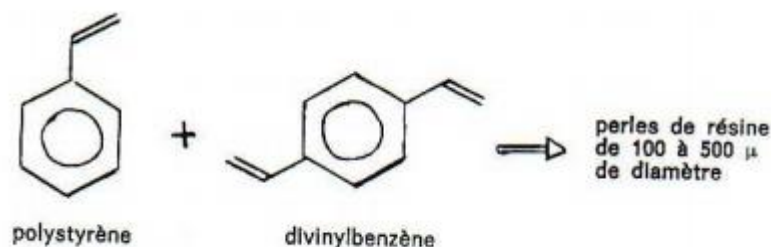
➤ La dureté carbonatée est responsable des incrustations (dépôts de tartre) dans les chaudières et dans les tuyauteries de circulation d'eau chaude.

La présence d'une certaine dureté carbonatée est utile pour éviter la corrosion des canalisations.

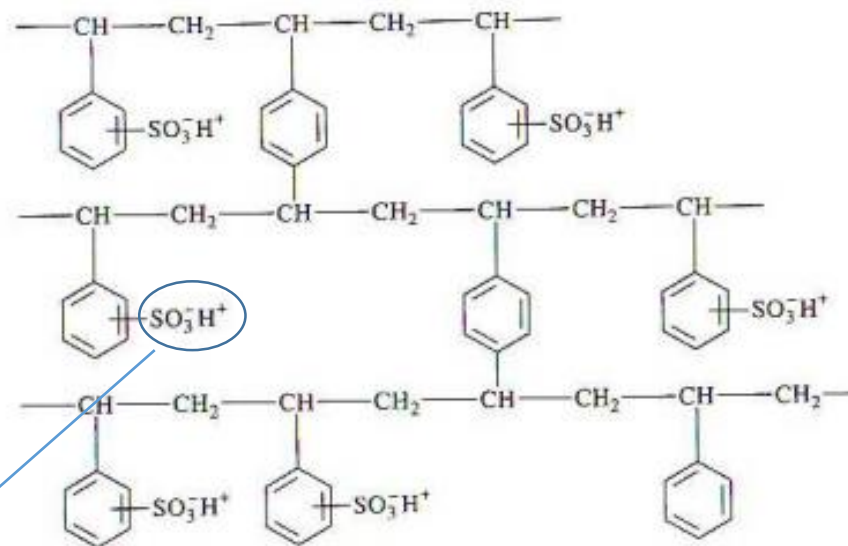
## Traitement :

Adoucissement : résine échangeuse d'ions cationiques

### Résine de polymérisation



Ex: copolymère tridimensionnel formé de styrène et divinylbenzène (Amberlite IR-120)

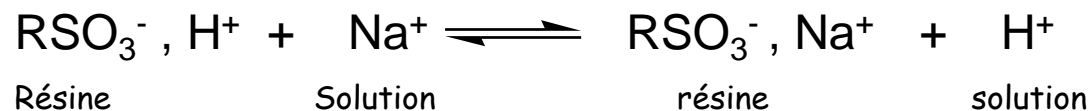


Résine finement divisée afin de présenter une grande surface de contact avec la solution

Groupes ioniques introduits en substituant un atome du noyau benzénique exemples groupes actifs :  $R-SO_3^-$   $R-PO_3^{2-}$   $R-CO_2^-$

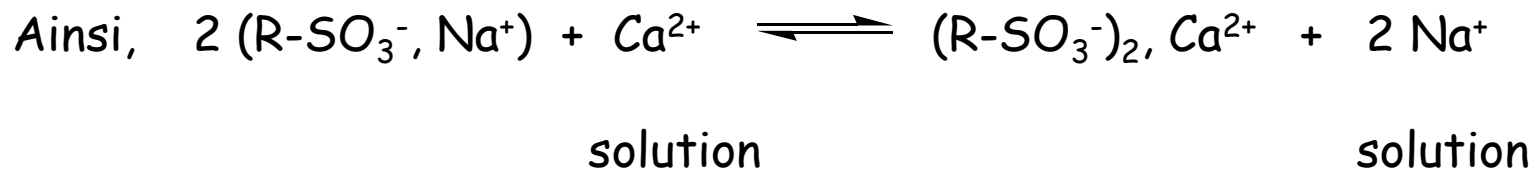
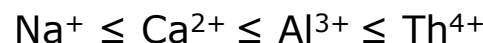
## Mécanisme d'échange :

Les ions de la solution traversent les mailles du réseau et diffusent jusqu'aux centres actifs.



$$K = \frac{[\text{Na}^+]_R [\text{H}^+]_S}{[\text{Na}^+]_S [\text{H}^+]_R}$$

L'équilibre dépend de T et de l'affinité des ions pour la résine



L'ion sodium contrairement aux ions calcium et magnésium, ne provoque pas l'entartrage des canalisations

# Adoucisseur domestique :

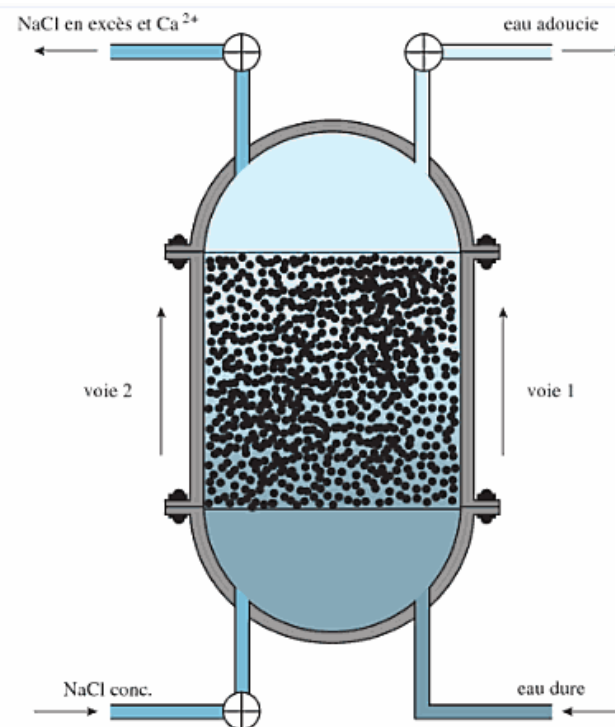
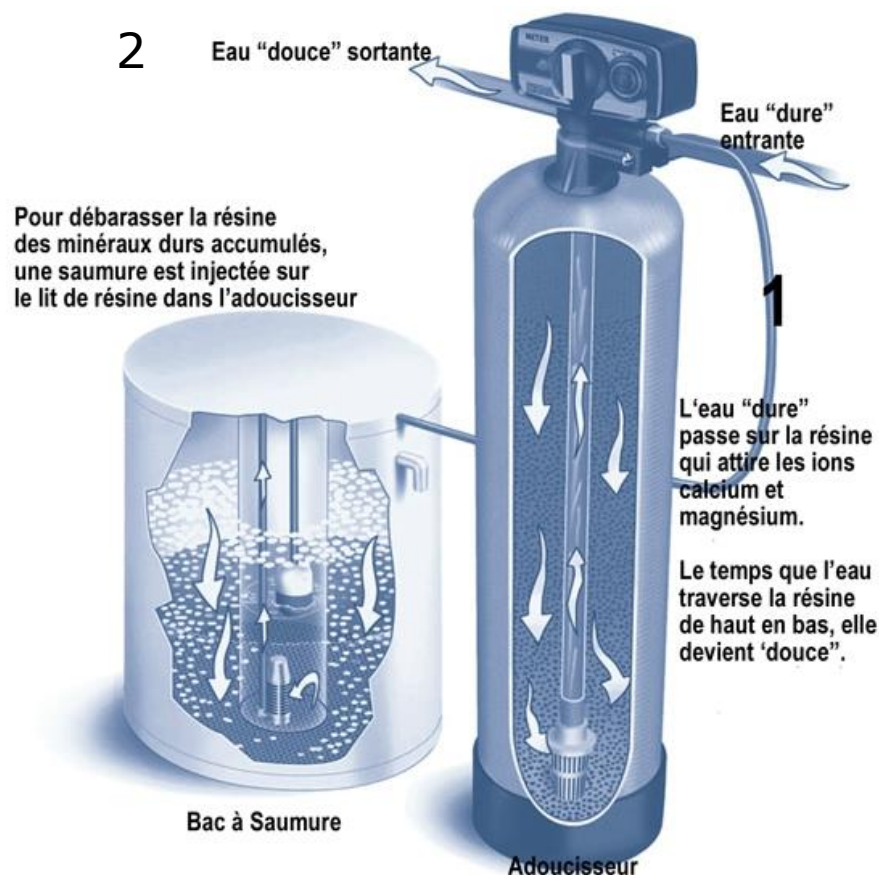


Fig. 10.12 Schéma d'un adoucisseur d'eau.

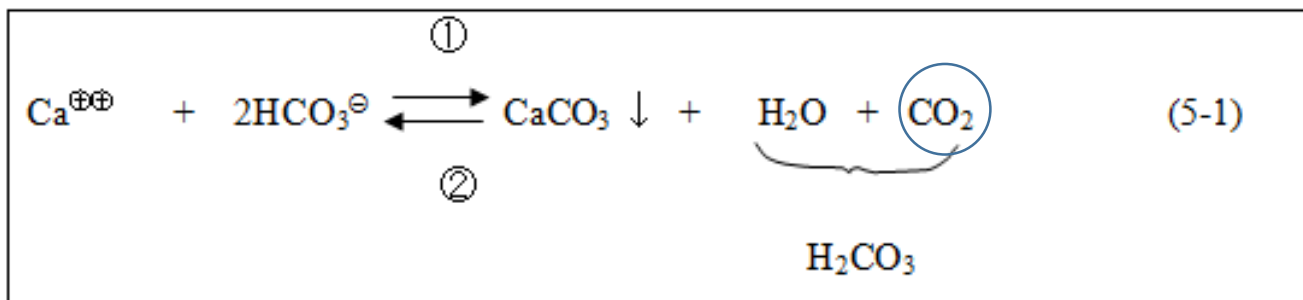
Inconvénients :

- enrichissement eau en Na (résine alimentaire)
- peut accroître la corrosion
- prolifération bactérienne.

## INTERPRETATION des RESULTATS

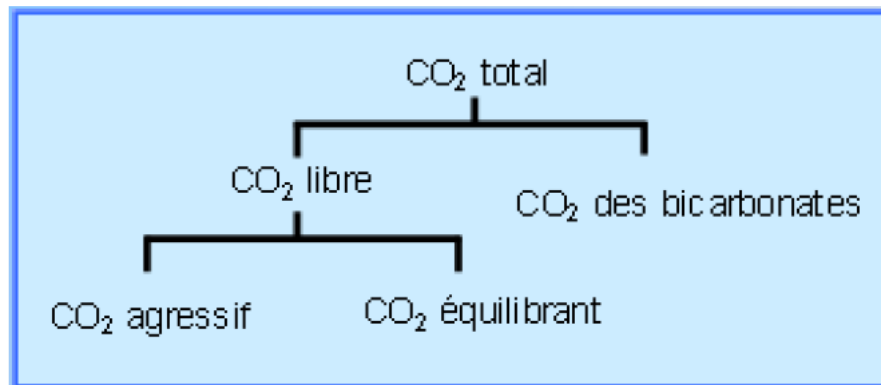
Pour l'eau alimentaire,

- $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
- TAC se situe souvent entre 10 et 30 °f.
- TH<sub>tot</sub> se situe souvent entre 8 et 15 °f
- pH de saturation :
  - $\text{pH} < \text{pH}_{\text{sat}}$  eau agressive
  - $\text{pH} > \text{pH}_{\text{sat}}$  eau incrustante



L'agressivité c'est-à-dire l'aptitude d'une eau à dissoudre le calcaire est liée à la présence de  $\text{CO}_2$  excédentaire

## La REPARTITION du DIOXYDE DE CARBONE dans les EAUX



La présence d'une certaine quantité de CO<sub>2</sub> libre est nécessaire et suffisante pour éviter le dépôt de CaCO<sub>3</sub>. Ce CO<sub>2</sub> est désigné sous le nom de CO<sub>2</sub> équilibrant

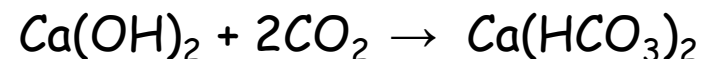
Si la totalité du CO<sub>2</sub> contenue dans une eau est supérieure à la dose de CO<sub>2</sub> équilibrant, son excès constitue le CO<sub>2</sub> agressif.

Celui-ci empêche la formation du dépôt carbonaté protecteur sur les parois métalliques.

### Traitements :

- Élimination du CO<sub>2</sub> excédentaire par aération :

- par ajout de chaux



Permet la reminéralisation.

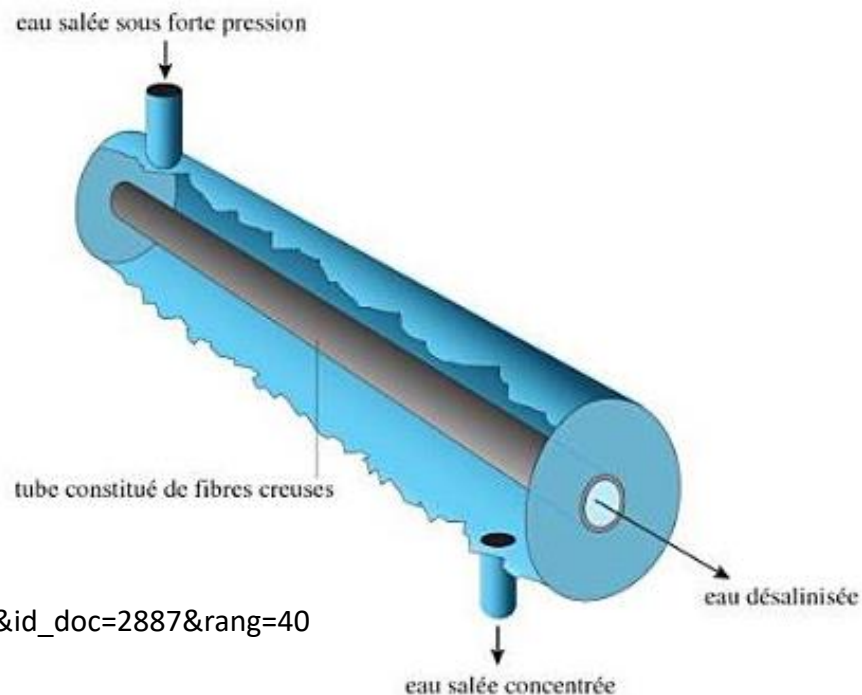


# Chapitre 5: Les MOYENS d'ACTION

1. L'aménagement des cours d'eau et la construction de barrages
2. La valorisation des nappes aquifères

## 3. L'utilisation de l'eau de mer.

- Désalinisation de l'eau de mer par distillation ou osmose inverse  
Distillation nécessite importante quantité d'énergie  
Osmose inverse nécessite une très forte pression pour compenser et dépasser la pression osmotique.



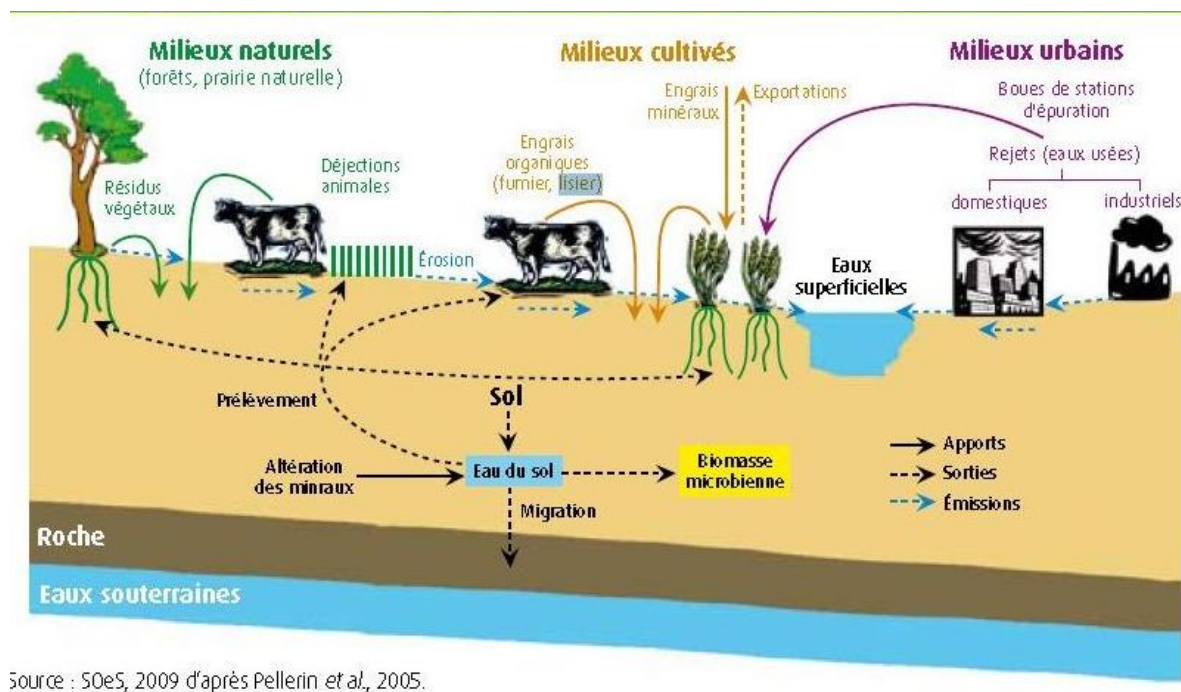
[http://videotheque.cnrs.fr/index.php?urlaction=doc&id\\_doc=2887&rang=40](http://videotheque.cnrs.fr/index.php?urlaction=doc&id_doc=2887&rang=40)

4. Traitement des eaux usées urbaines et de l'industrie permettant de minimiser les prélèvements en surface et de protéger les eaux en surfaces et souterraines contre les atteintes nuisibles.

## Traitement des eaux usées urbaines

Les ressources en eau superficielles sont plus vulnérables aux pollutions et susceptibles de contenir, en quantités non négligeables

- Matières en suspension
- Métaux lourds
- polluants organiques (pesticides, médicaments, résidus d'hydrocarbures,...)
- Sels de phosphates et nitrates (détergents, engrais)

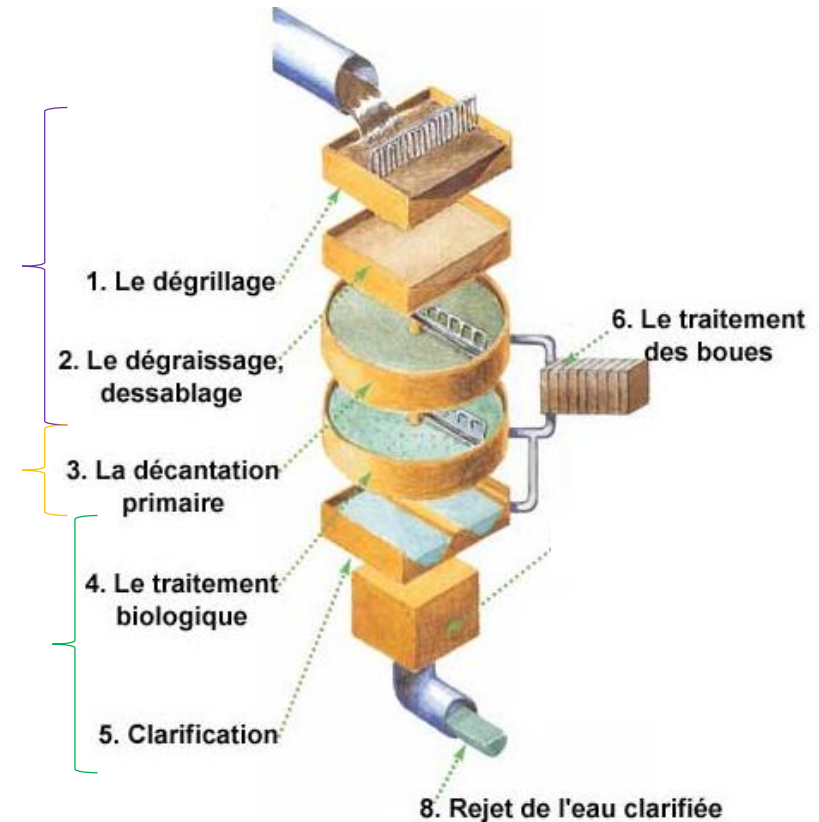


Source : SOeS, 2009 d'après Pellerin et al., 2005.

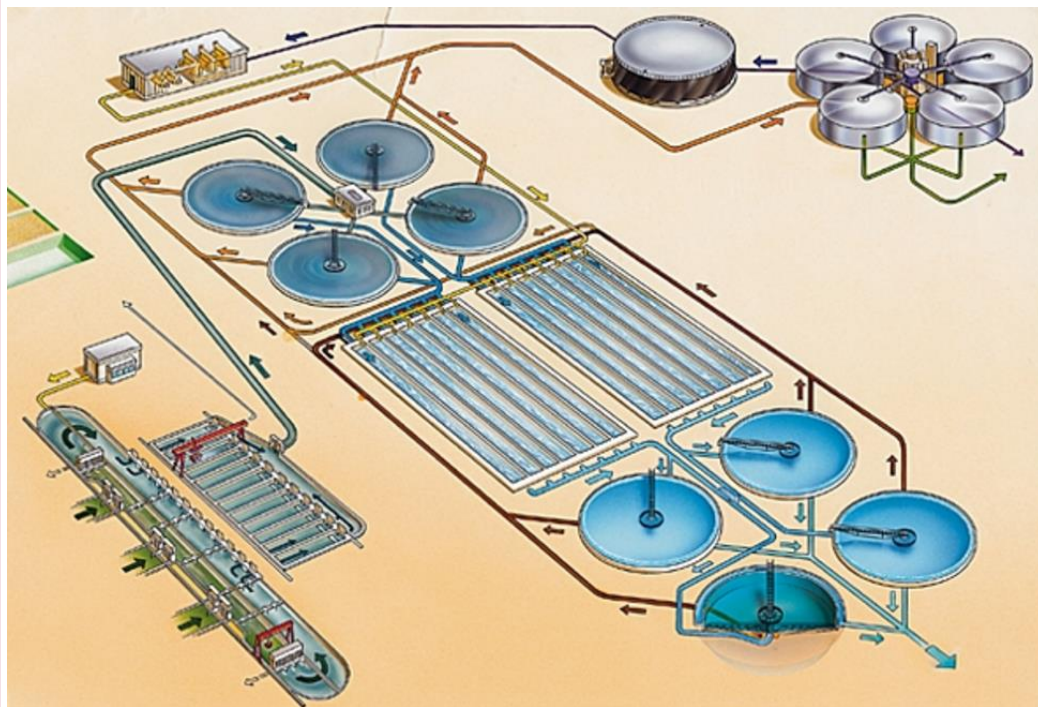
# Traitement des eaux usées urbaines

Etapes du traitement :

- **Le prétraitement** :
  - consiste à éliminer de l'eau les corps flottants
- **Le traitement primaire** :
  - supprimer les matières en suspension
- **Le traitement secondaire** :
  - éliminer les matières dissoutes dans l'eau
- **Le traitement des boues**







Source document encyclopédie Larousse

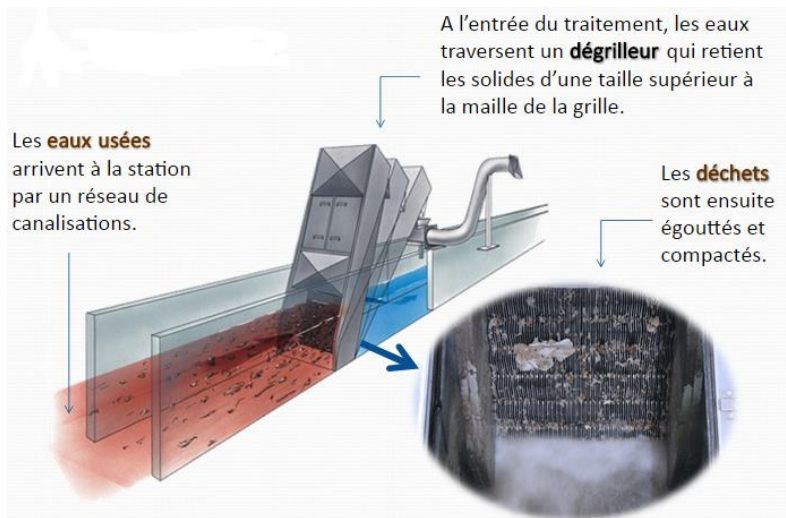


Source document waterleau

# Le prétraitement

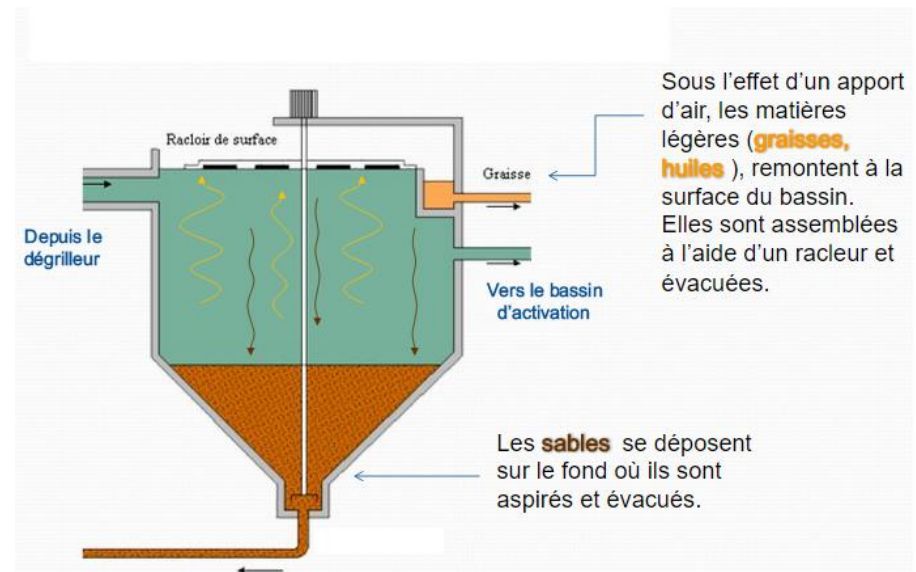
Elimination des objets flottants et encombrants par dégrillage, dessalage, déshuilage.

## dégrillage



## dessablage

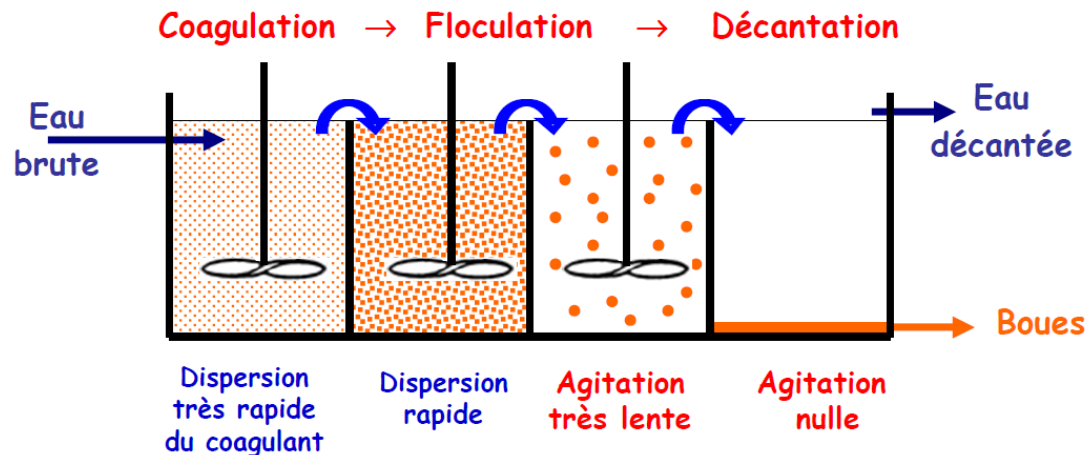
## déshuilage



# Traitement primaire

Décanner les matières particulaires dans de grands bassins.

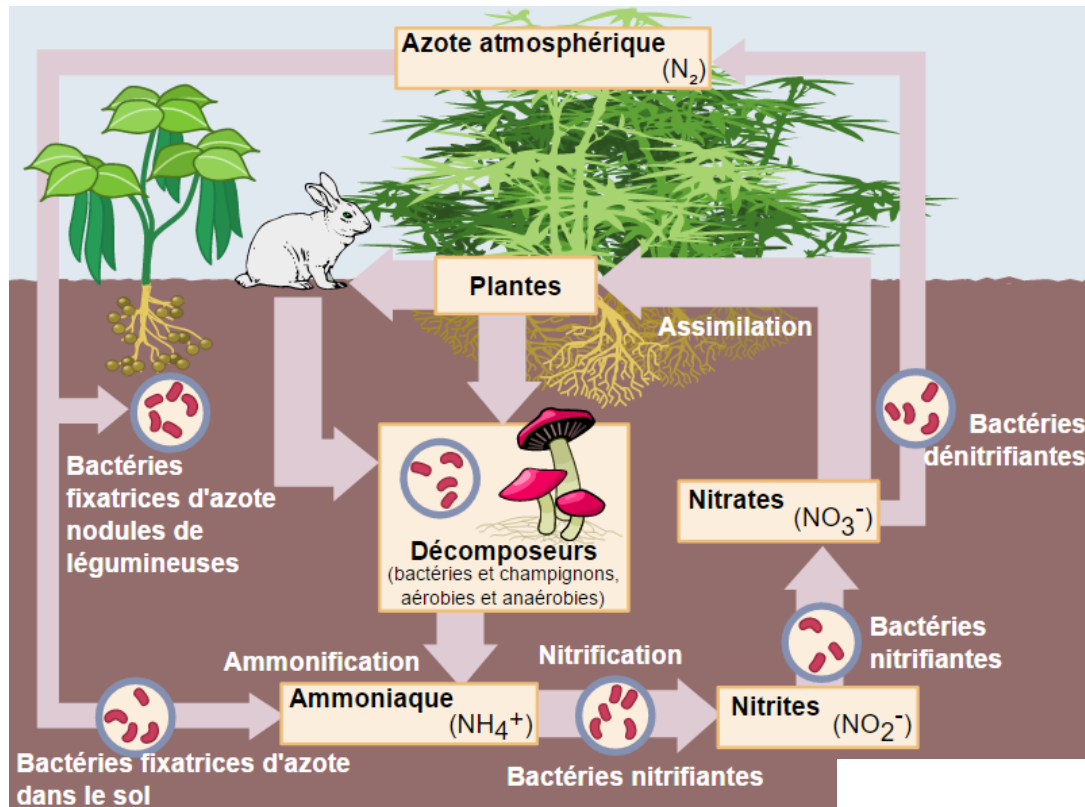
Raclage de fond pour récupérer les boues primaires



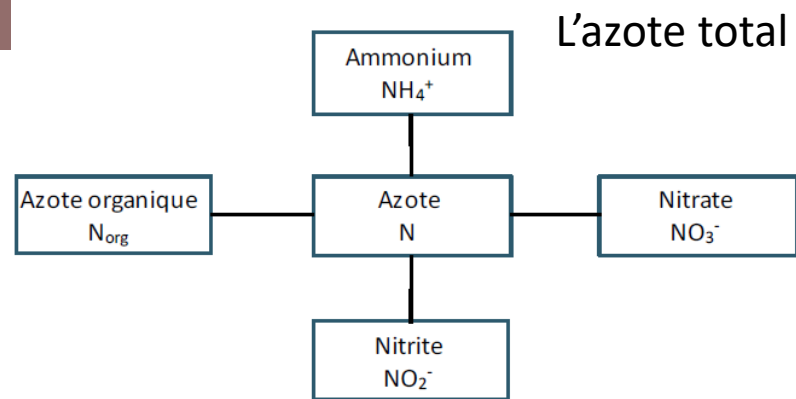
Coagulants peuvent être ajoutés tels que des polymères anioniques, des aluns (sulfate d'aluminium)



# Cycle de l'azote



Document source: Wikipédia



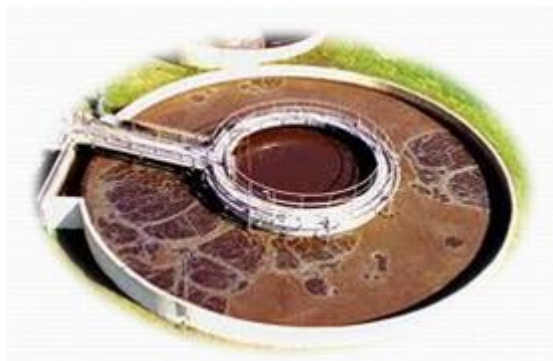
# Traitement secondaire



## 1) Traitement biologique

Éliminer la pollution dissoute grâce aux microorganismes

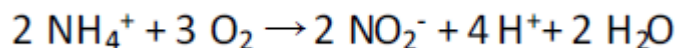
Bassin d'aération : on brasse l'eau tout en ajoutant de l'oxygène par injection d'air



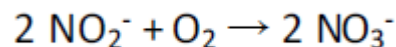
Traitement aérobie: - élimine les composés organiques  
- **nitrification**: oxydation de l'ammoniaque en nitrate



Nitritation



Nitratisation

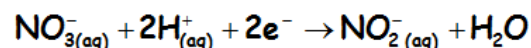




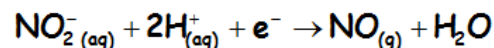
Traitement anoxique : **dénitrification** (oxygène sous forme de nitrate)

Réduction du nitrate en diazote gazeux réalisée par des bactéries

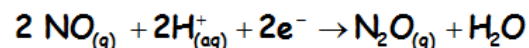
Ion nitrate  $\longrightarrow$  ion nitrite



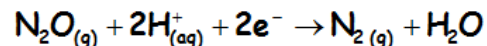
Ion nitrite  $\longrightarrow$  monoxyde d'azote



Monoxyde d'azote  $\longrightarrow$  protoxyde d'azote



Protoxyde d'azote  $\longrightarrow$  diazote.



Séparation Les microorganismes se développent tout en se nourrissant des pollutions dissoutes (carbone, azote et phosphore). Aussi, le phosphore peut être chimiquement ou biologiquement éliminé (accumulé intracellulairement par certaines bactéries)

# nomenclature

- **Matières en suspension (MES)** : c'est la fraction non dissoute de la pollution.

la MES contribue à déséquilibrer le milieu aquatique en augmentant la turbidité (effet néfaste sur l'appareil respiratoire des poissons), dégrade la qualité de l'eau par les produits des fermentations.

- **Demande biologique en oxygène (DBO)** : la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. (Généralement mesurée en 5 jours dans un flacon fermé à l'obscurité à 20°C)
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : représente la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique. (oxydation complète de l'eau brute au dichromate de potassium).

le rapport entre ces 2 paramètres donne une idée de la biodégradabilité de l'effluent.

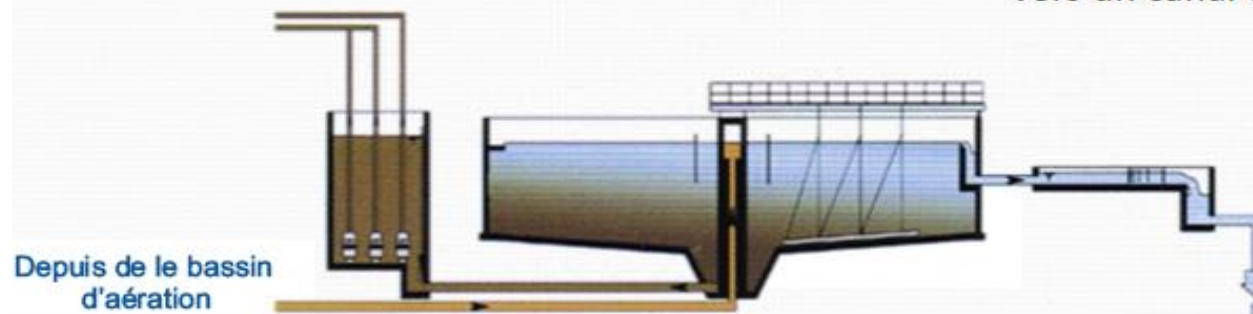
Exigences épuratoires minimales	
Paramètres	Concentration maximales (mg/l)
DBO <sub>5</sub>	25
DCO	125
MES	< 10 000 EH: 60 > 10 000 EH : 35
Azote total	< 100 000 EH : 15 > 100 000 EH : 10
Phosphore total	< 100 000 EH : 2 > 100 000 EH : 1

Directive européenne 98/15/CE

## 2) Clarification

Les **boues**, plus denses que l'eau se déposent au fond du bassin. Puis elles sont évacuées vers un puits à boues.

Les **eaux claires** se trouvant à la surface du bassin, sont récupérées par un système de déversoir et orientées vers un canal de rejet.



Le clarificateur est un bassin dans lequel l'eau repose.

## 3) Déchets : les boues

Composition moyenne : matière organique, éléments fertilisants (N,P, Ca,...), éléments en traces (Cu,Zn,Cr,Ni,...), agents pathogènes.

# Le traitement des boues

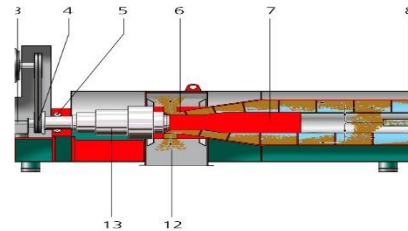
2 objectifs qualitatif et quantitatif :

- réduction du volume
- stabilisation

Boues  
primaires et  
biologiques



Epaississement

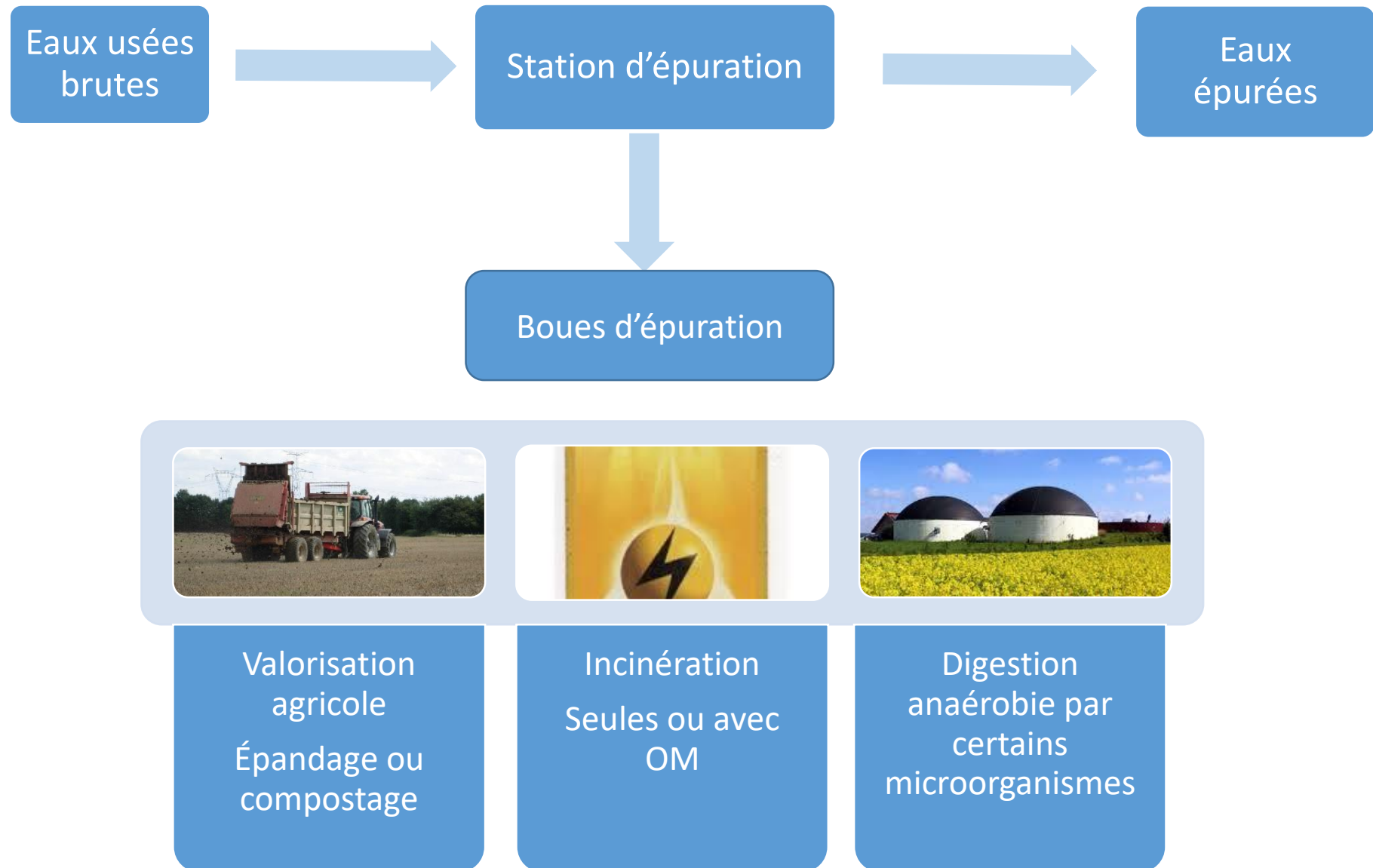


Déshydratation



Stabilisation  
par chaulage  
 $\text{CaO}$  ou  $\text{Ca(OH)}_2$

# Valorisation des boues



# Conversion de la biomasse en biogaz

La **biomasse** englobe toutes les matières organiques provenant de formes biologiques diverses.

## Matière organique ?

les plus diverses :

- boues de station d'épuration
- ordures ménagères
- effluents industriels (principalement de l'agroalimentaire, papeteries)
- déchets agricoles, aussi bien résidus végétaux de récolte que résidus d'élevage



## Idée motrice ?

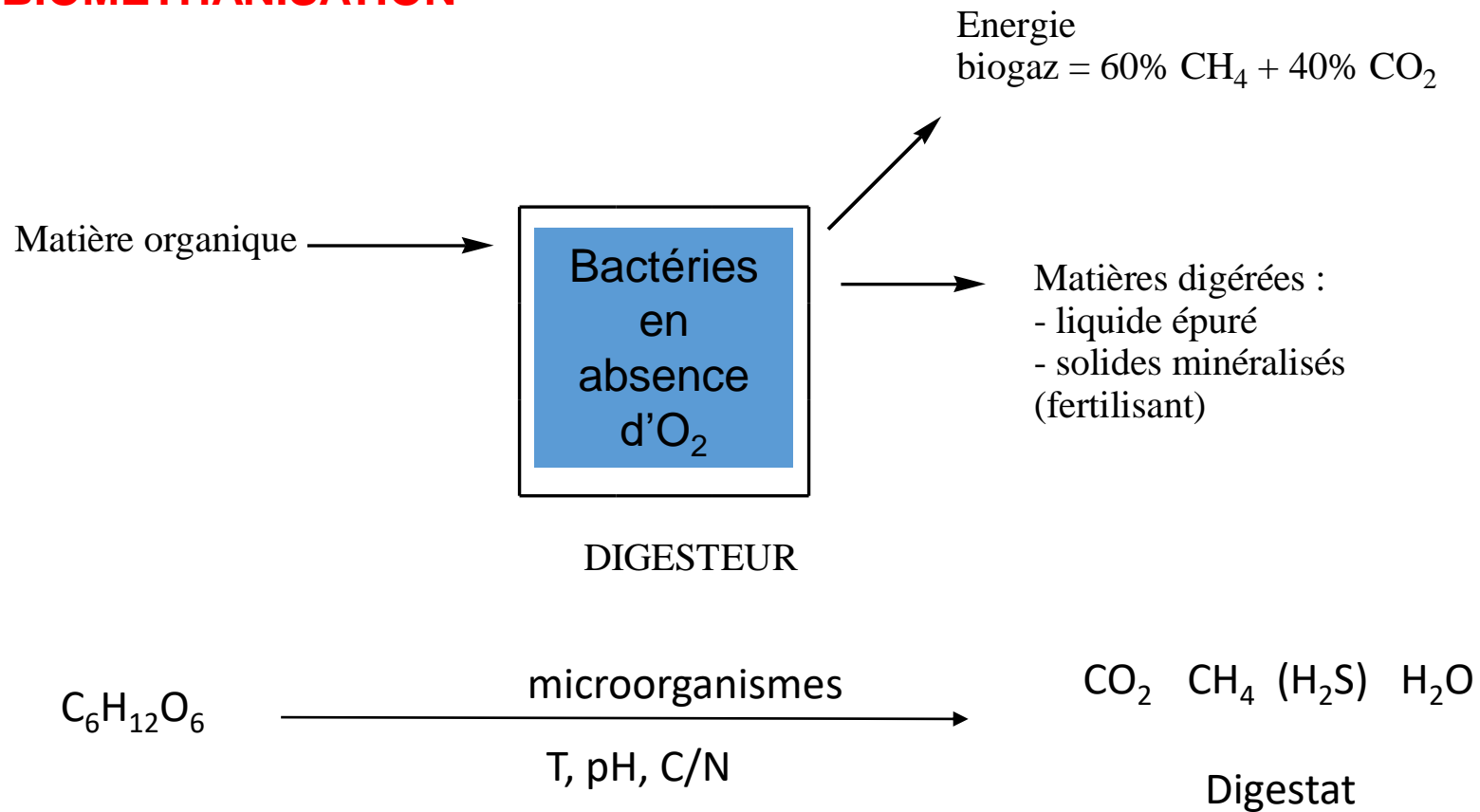
réaliser par voie microbiologique la dismutation du C organique



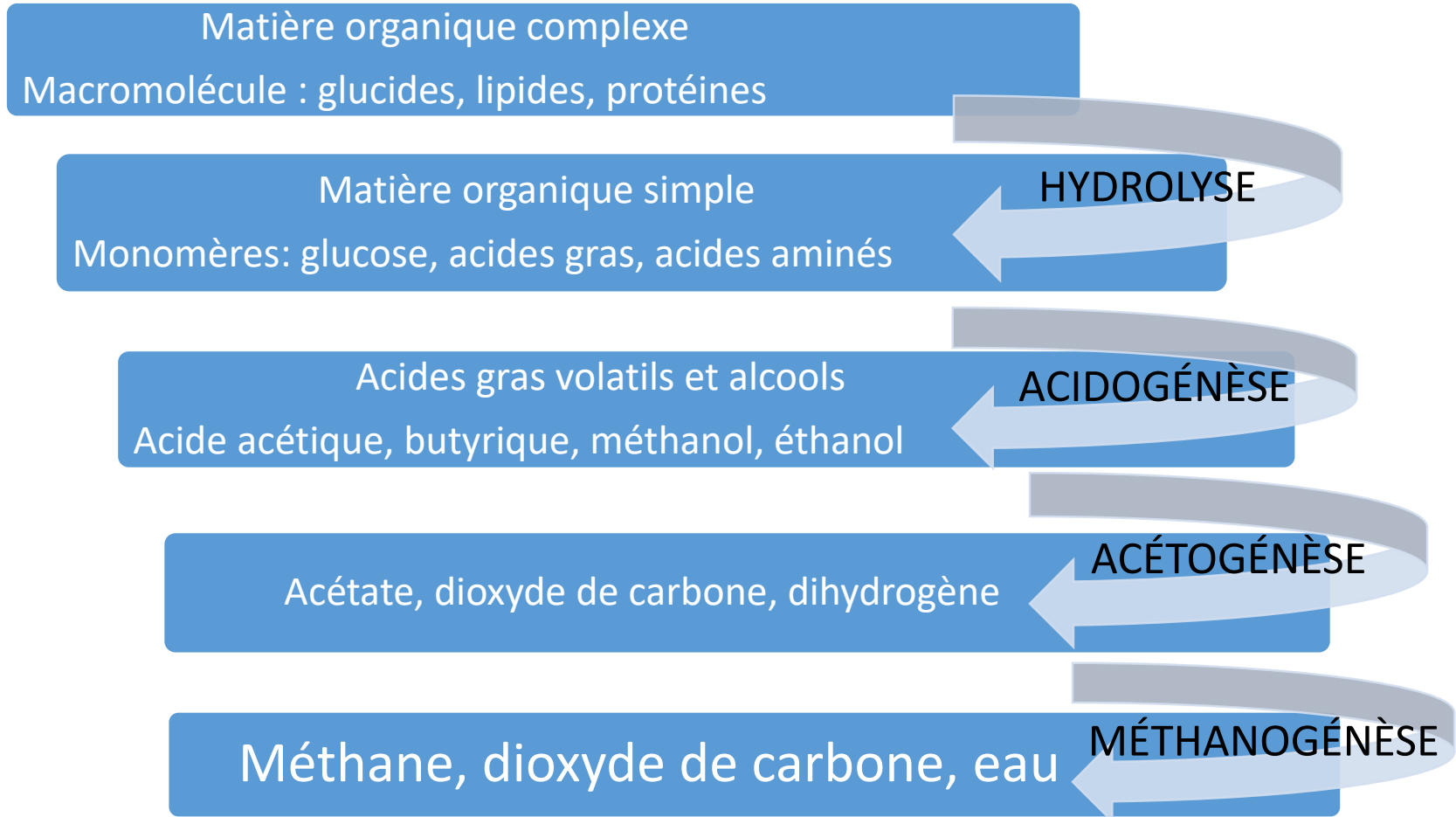
**Le biogaz ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales**

« La fermentation c'est la vie sans air » (Pasteur)

# BIOMETHANISATION



## Principales étapes réalisées par des grands groupes de bactéries vivant en symbiose.



### PRODUIT FINAL :

- ✓ BIOGAZ ( $\approx 60 \% \text{CH}_4 + \approx 40 \% \text{CO}_2$ ) à valeur énergétique intéressante
- ✓ boues digérées (→engrais)

**Energie : 1 Nm<sup>3</sup> de BIOGAZ  $\approx$  6 000 kcal  $\approx$  0,7 l de mazout**



## Avantages, inconvénients ?

- produit de l'énergie directement valorisable à partir de biomasses variées.
- Dépollue la charge organique des effluents, donc diminue les risques de pollution lors de son rejet en milieu naturel.
- Contribue à la diminution de l'émission d'un gaz à effet de serre, le méthane.
- Les résidus de la biométhanisation peuvent être valorisés
- Gaz hautement inflammable
- Contamination indésirable par produits toxiques des boues de station d'épuration.

